

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Konstrukční řešení strojního zařízení pro indukční pájení

Structural Design of Mechanical Machinery for Induction Brazing

Student:

Bc. Pavel Rec

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Rec**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: Konstrukční řešení strojního zařízení pro indukční pájení
Structural Design of Mechanical Machinery for Induction Brazing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce proved'te stručnou rešerši problematiky a analýzu problému. Navrhněte konstrukční řešení pro stavbu předmětného strojního zařízení. Návrh podložte potřebnými pevnostními a dalšími funkčními výpočty. Zpracujte výkresovou dokumentaci, která bude zohledňovat veškeré bezpečnostní předpisy a legislativu ČR dle nařízení vlády č. 176/2008 Sb. Bližší specifikace provozních podmínek a dalších relevantních parametrů určí zadavatel – Miele, spol. s r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
BROŽ, L. *Hutnictví železa*. Praha: SNTL, Praha 1988. 460 str.
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, srpen 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2016



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....15.5.2016.....



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Pavel Rec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jiráskova 677, 783 91, Uničov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

REC, P. *Konstrukční řešení strojního zařízení pro indukční pájení: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 66s. Vedoucí práce: Fries, J.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem strojního zařízení pro indukční pájení měděných rozvodů podlahového modulu. Práce obsahuje popis technologie pájení a její rozdělení, návrh konstrukčního řešení samotného strojního zařízení a statický výpočet podstavce pro robot. V závěru jsou popsány navržené přípravky.

ANOTATION OF MASTER THESIS

REC, P. *Structural Design of Mechanical Machinery for Induction Brazing: Master thesis*. Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2014, 66p., Thesis, head: Fries, J.

The master thesis deals with a structural design of mechanical machinery for induction brazing of copper piping. The thesis includes technology of brazing and their different methods of it, proposal for the structural design and static analysis of pedestal for the robot. In the conclusion are described a designed products.

Obsah

Seznam použitých zkratk, značek a jednotek	8
Úvod.....	9
1. Pájení.....	10
1.1 Rozdělení pájení podle pracovní teploty	10
1.1.1 Měkké pájení.....	10
1.1.2 Tvrdé pájení	11
1.3 Rozdělení pájení podle technologie pájení	12
1.4 Pájení plamenem.....	12
1.4.1. Pájecí hořáky.....	13
1.5 Indukční pájení	14
1.5.1 Indukční ohřev	14
1.5.2 Vliv tepelné vodivosti	15
1.5.3 Vliv tepelné kapacity	16
1.5.4 Vliv vzdálenosti cívky	17
1.5.5 Induktor.....	18
1.6 Pájky	18
1.7 Tavidla	19
2. Konstrukční řešení	22
2.1 Kabina pro robot.....	24
2.2 Dveře do kabiny.....	27
2.3 Řemenový dopravník.....	28
2.4 Robot	30
2.5 Podstavec pro robot	31
2.6 Průmyslový chladič	32
2.7 Zařízení pro indukční pájení.....	33
2.8 Odsávání	37
3. Návrh držáku pro robot	40
4. Přípravek na výrobu induktoru.....	45
5. Přípravek na optickou kalibraci robotu.....	47
Závěr.....	50

Seznam použitých zdrojů.....	52
Seznam obrázků	54
Seznam tabulek.....	55
Seznam příloh	55
Seznam výkresové dokumentace.....	56

Seznam použitých zkratk, značek a jednotek

Značka/Zkratka	Popis	Jednotka
Al	hliník	
Cu	měď	
f	frekvence	[Hz]
F_O	odstředivá síla	[N]
$F_{Z,B}$	svislé zrychlení břemene	[N]
$F_{Z,R}$	svislé zrychlení robotu	[N]
I	elektrický proud	[A]
l	délka	[mm]
m	hmotnost	[kg]
m_B	hmotnost břemen	[kg]
m_R	hmotnost robotu	[kg]
P	výkon	[W]
p	tlak	[Pa]
PLC	programmable logic controllers	
Q	průtok	[m ³ /hod]
r_B	max. rameno těžiště břemene	[mm]
r_R	max. rameno těžiště robota	[mm]
U	napětí	[V]
v_I	rychlost v max. dosahu břemene	[m/s]
σ_{HMH}	smluvní napětí	[MPa]

Úvod

Ve dvacátém století zažila průmyslová výroba prudký vývoj ve všech oblastech a odvětvích. Jedním z významných milníků na konci šedesátých let se stalo uvedení programovatelných automatů do výrobního procesu. Tyto automaty se nazývají programmable logic controllers avšak známější jsou pod zkratkou PLC. Postupně během let došlo k jejich zmenšení a standardizaci při zvyšování jejich výkonnosti. V dnešní době se automaty používají od řízení jednoduchých linek až po komplexní řízení celého podniku.

Zadavatel diplomové práce se soustředí nejen na výrobu domácích spotřebičů ale i přístrojů, které se používají v profesionálních nebo lékařských zařízeních. Indukční pájení trubkových rozvodů z mědi patří mezi nové technologie společnosti. Diplomová práce se věnuje konstrukčnímu návrhu strojního zařízení, které slouží pro indukční pájení. Cílem práce je vytvoření konstrukce a kompletní výkresové dokumentace, která poslouží k realizaci projektu. Pracovní proces je realizován pomocí robotu nesoucí induktor.

V první části práce (kap. 1) je čtenář seznámen s technologií pájení, rozdělením pájení podle několika hledisek a také jsou zde popsány pájky a tavidla. V této kapitole je také podrobněji přiblíženo samotné indukční pájení.

Druhá část (kap. 2) se zabývá konstrukčním řešením strojního zařízení pro indukční pájení. Jedná se o robotizované pracoviště s šestiosým robotem a řemenovým dopravníkem. Vstupním elementem do pracoviště je manipulační vozík s deskou, na které se nachází podlahový modul.

Další kapitoly popisují konstrukci různých přípravků a jejich funkci. Tyto přípravky jsou použity na pracovišti a jsou součástí návrhu strojního zařízení pro indukční pájení.

1. Pájení

Pájení je druh spojování materiálů za pomoci pájky, která má nižší teplotu než je tavná teplota spojovaných součástí. Cílem pájení je vytvořit nerozebíratelný spoj. Tento spoj vzniká za pomoci přídavného materiálu, který se nazývá pájka. Při pájení nedochází k roztavení pájeného materiálu, ale taví se pouze pájka. Pro odstranění nečistot před pájením se používá tavidlo. Pájení se dá rozdělit podle pracovní teploty nebo také podle technologie pájení. [1]

Výhody pájení:

- menší spotřeba energie a větší pracovní rychlost
- možnost spojování všech kovů a slitin (jinak nespojitelných), lze kombinovat železné i neželezné materiály
- velká rozměrová přesnost
- možnost mechanizace a automatizace procesu
- vysoká produktivita
- jednodušší zařízení
- menší vnitřní pnutí v materiálu
- pájka vyplňuje celý průřez spoje [2]

Nevýhody pájení:

- menší pevnost spojů
- nevhodné pro dlouhé spoje
- složitější tvar a náročnější příprava spojů
- přítomnost dalšího materiálu ve spoji může zhoršit odolnost proti korozi [2]

1.1 Rozdělení pájení podle pracovní teploty

1.1.1 Měkké pájení

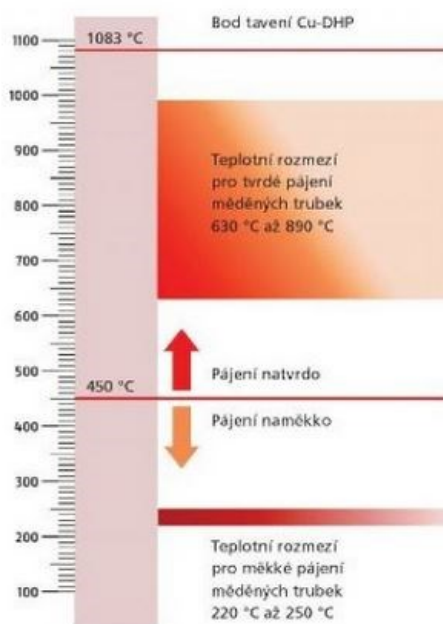
Měkké pájení se provádí s nízkou teplotou tavení pájky, kdy teplota nepřesahuje 450 °C. Toto pájení se hlavně používá pro spojování elektrických obvodů. Měkké pájení se dá

provést jak pomocí tzv. transformátorové páječky tak plně automaticky např. v peci. Spoj, který vznikne při pájení naměkko, je specifický menší pevností a je používán u zařízení, která jsou namáhána méně. [1]

1.1.2 Tvrdé pájení

Tvrdé pájení se využívá pro spoje, které jsou namáhány elektricky, tepelně a mechanicky. Tento druh pájení je vhodný tam, kde jsou spoje více zatížené, což jsou např. příruby trubky. Tvrdé pájení se také používá pro pájení žárupevných a žáruvzdorných ocelí. Dále je tvrdé pájení použito pro pájení měděných trubek, pájení rozvodů plynů apod.

Během tvrdého pájení se teplota pohybuje přibližně od teploty 450 °C do teploty, při které se začíná tavit pájka. Na obrázku 1 je znázorněno teplotní rozmezí pájení naměkko a natvrdo. [1]



Obr. 1 Teplotní rozmezí pájení [3]

1.3 Rozdělení pájení podle technologie pájení

Z hlediska technologie pájení rozdělujeme pájení na [7]:

- pájení ponorem
- pájení v peci
- plamenové pájení
- indukční pájení

Z důvodu projektu zadavatele diplomové práce, která se zabývá návrhem konstrukce pro indukční pájení, budou v následujících kapitolách popsány metody, které zadavatel používá v současném provozu.

V současnosti se používá metoda pájení plamenem, viz kap. 1.4. Z důvodu dosažení vyšší stability procesu a kvality výrobků se přechází na indukční pájení, viz kap. 1.5.

1.4 Pájení plamenem

Spalováním hořlavé směsi plynů se produkuje teplo, které slouží k ohřevu oblasti spoje na pájecí teplotu. Pájení plamenem se používá pro údržbu a opravy, montáž, ale také pro kusovou výrobu, hlavně tvarově rozměrnějších dílů. V takovýchto případech převažuje ruční způsob pájení. Automatizovaný způsob práce se používá v hromadné výrobě.

Mezi výhody tohoto způsobu pájení patří nízké investiční náklady ve srovnání s ostatními metodami.

Zařízení, které slouží k pájení plamenem je podobné jako zařízení pro svařování plamenem. Tato zařízení jsou složena:

- ze zdroje plynů
- z pájecích hořáků s příslušenstvím
- z pomocných přípravků

Pro vytvoření pájecího plynu se mohou použít téměř všechny technické hořlavé plyny nebo tekutá paliva. Mezi nejpoužívanější paliva patří propan, acetylén, vodík a zemní plyn.

Do tekutých paliv se řadí benzín, petrolej a etylalkohol. Za normální teploty se rychle odpařují. [1]

1.4.1. Pájecí hořáky

Aby došlo k vytvoření pájecího plamene, je zapotřebí určitého tlaku plynů, které vytvářejí hořlavou směs. Potřebný kyslík je přiváděn z láhve, která je pod tlakem. Díky tomuto dělíme pájecí hořáky na:

- s nasáváním vzduchu
- stlačený vzduch nebo kyslík

Mezi hořáky s nasáváním vzduchu se řadí takové hořáky, které spalují tekutá paliva, jako jsou benzín, propan, butan a acetylén. Hořlavý plyn, jenž proudí tryskou, nasává určité množství vzduchu, kterého je potřeba pro spalování. Nejčastěji používaným náradím, zvláště pro měkké pájení, je pájecí lampa. [1]

K hořákům na stlačený vzduch nebo kyslík řadíme takové hořáky, které mají zvláštní přívod hořlavého plynu a kyslíku. Pro pájení je možné také použít běžný svařovací hořák. Výhodnější je ovšem použít hořákový nástavec s otvory. Tyto nástavce mají různé tvary. [1]



Obr. 2 Pájecí hořák [10]

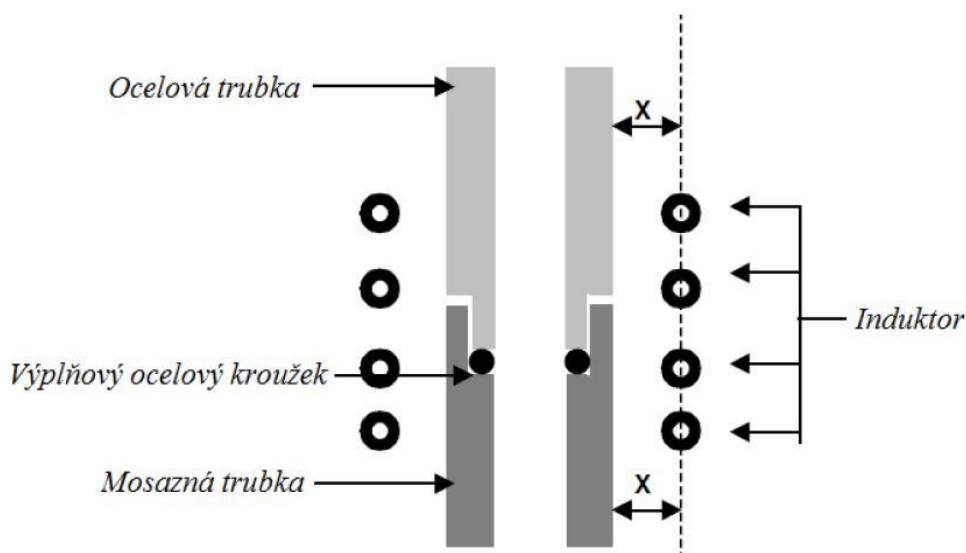
1.5 Indukční pájení

Ze všech technologií v pájení je přibližně 75% celkového pájení prováděno za pomoci plamenného ohřevu. Dalších přibližně 15% se dělí do dvou procesů. Tyto metody jsou popsány jako elektrické metody ohřevu a jsou to indukce a odpor.

Obě dvě tyto metody mají schopnost, která se vyznačuje poměrně rychlým a úzce lokalizovaným ohřevem od oblasti spoje. Pokud jsou využity jejich vlastnosti pro maximální efekt, dochází k dosažení vynikajících výsledků. I přes čistý postup obou procesů je nutné si uvědomit, že jejich možnosti použití pro pájení nejsou ani zdaleka tak všestranné jako je plamenový ohřev. [5]

1.5.1 Indukční ohřev

Během indukčního pájení vzniká teplo elektrickou indukcí, díky čemuž je umožněn ohřev součásti na teplotu pájení. Je třeba dosáhnout toho, aby v oblasti spoje došlo k rovnoměrnému ohřevu obou spojovaných součástí na pracovní teplotu pájení. Z tohoto důvodu se provádí pomalý ohřev, který zajistí rovnoměrné ohřátí celého průřezu pájeného spoje. [6]



Obr. 3 Celkové uspořádání pro indukční ohřev [5]

Indukční ohřev je založen na principu transformátoru. Indukční cívkou neboli induktorem protéká elektrický proud I o napětí U . Díky tomu se vytvoří střídavé magnetické pole. Toto pole je silnější uvnitř cívky než na její vnější straně. Pokud se do vnitřního prostoru induktoru vloží elektricky vodivá součást, začne induktor působit jako primární vinutí. Vložená součást začne působit jako sekundární vinutí spojené nakrátko. Induktor indukuje ve vložené součásti vířivé proudy, díky čemuž vzniká teplo. Tímto teplem je ohřívána vložená součást. Induktor je ve většině případů vyroben z měděné trubky, ve které koluje voda. Voda slouží k ochlazení induktoru.

Účinnost indukčního ohřevu se odvíjí od použitého generátoru a také od druhu ohřívaného materiálu. Pokud je ohřívána součást magnetická, pak je ohřev rychlejší, protože kromě vířivých proudů zde působí také magnetická hystereze. Naopak při indukčním ohřevu nemagnetických kovů jako jsou Cu, Al, apod. je ohřev pomalejší. To je zapříčiněno působením pouze vířivých proudů. [6]

Existuje pět faktorů, které je třeba vzít v úvahu, když je zkoumána celková účinnost ohřevu:

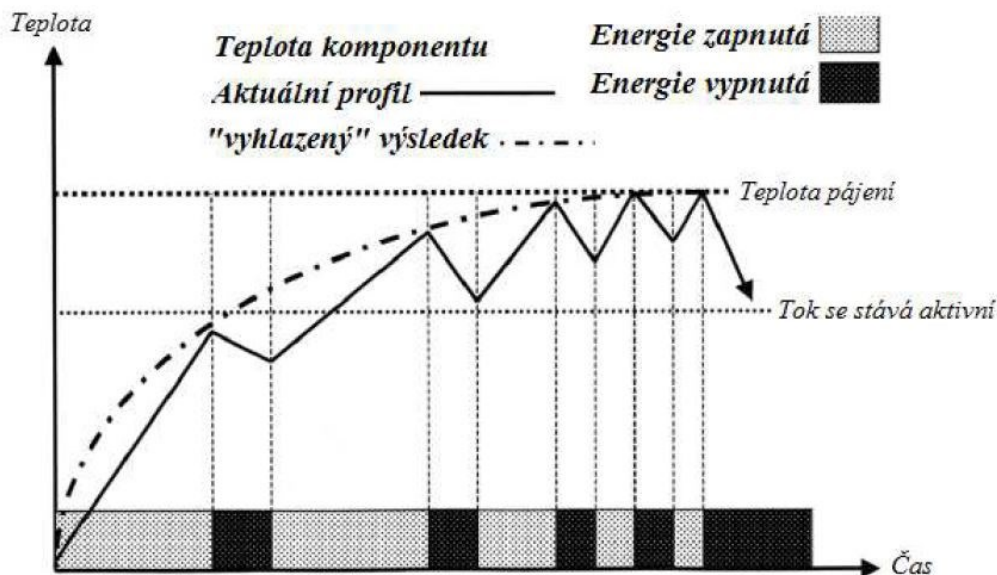
- tepelná vodivost materiálu
- tepelná kapacita dílu
- vzdálenost práce z induktoru
- frekvence, při které generátor pracuje
- rychlost příkonu [5]

1.5.2 Vliv tepelné vodivosti

Materiály jako jsou měď, hliník a mosaz mají malou odolnost proti průchodu elektrického proudu a díky tomu se pomocí indukce ohřívají poměrně pomalu. Tento druh materiálů má výbornou tepelnou vodivost. Teplo má snahu se poměrně rychle odvést do povrchu materiálu.

Na druhé straně jsou materiály, které mají vysokou odolnost proti průchodu elektrického proudu. Pokud se použije indukce jako zdroj tepla např. na vysoce uhlíkové oceli, což je materiál, který se dá zahřát velmi účinně, je pak velmi obtížné odvést teplo z místa výroby do komponentu. V takových případech hrozí nebezpečí, že tepelný příkon bude mít takovou rychlost, že nastane spálení povrchu.

Začleněním zařízení, které automaticky a rychle přepne proud, jenž je přiváděn do cívky zapnutím, a vypnutím při provozu vytápění se dají tyto škodlivé účinky vyloučit. Tím je poskytnuta doba pro ohřev, jenž byl vytvořen během období, kdy má být teplo odváděno do okolního materiálu během doby vypnutí. Díky tomu je zajištěna plynulá rychlost ohřevu a zamezení povrchovému popálení. [5]



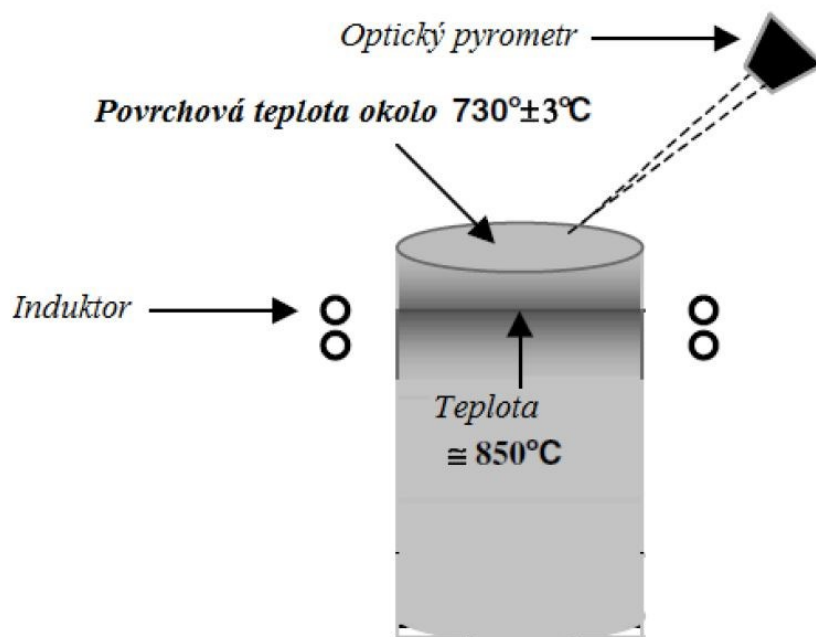
Obr. 4 Koncepce pulzujícího proudu [5]

1.5.3 Vliv tepelné kapacity

Změna teploty povrchu je jedním z důvodů, proč se mění emisivita povrchu. Jako příklad se dá uvést nanesení tavidla v podobě bílé pasty na část povrchu. Pyrometr uvidí bílou barvu a bílý povrch má vysokou emisivitu. Při tavení tavidla vzniká čirá kapalina, čímž se sníží emisivita povrchu, protože barva v pyrometru se mění od bílé do barvy základního materiálu. V případě, že základní materiál je ocelový, může zahřátím změnit barvu až na matně červenou. Pokud pyrometr hledí na povrch, který není bílý, nastává nižší emisivita, díky které mohou nastat problémy během řízení teploty. Je to z toho důvodu, že v okamžiku, kdyby měl pyrometr předat informaci generátoru, že má snížit sílu, protože teplota práce se blíží teplotě svařování.

Pyrometr je kalibrován tak, aby jeho výstupní signál představoval určitou předem stanovenou teplotní hodnotu. Tato nastavená teplota bývá zpravidla o pár stupňů vyšší, než je pracovní teplota slitiny pro pájení. Elektrický výstup z pyrometru automaticky řídí výkon

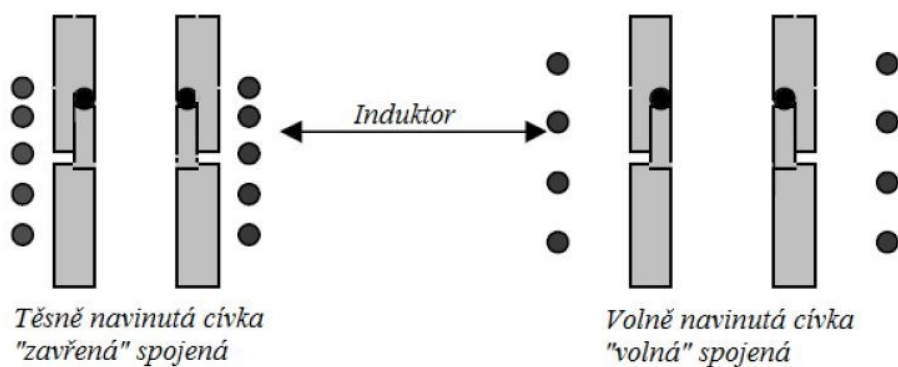
obvodu indukčního generátoru. To má za následek velmi přesnou regulaci teploty v oblasti spoje. [5]



Obr. 5 Válec uhlíku s regulací teploty pomocí optického pyrometru [5]

1.5.4 Vliv vzdálenosti cívky

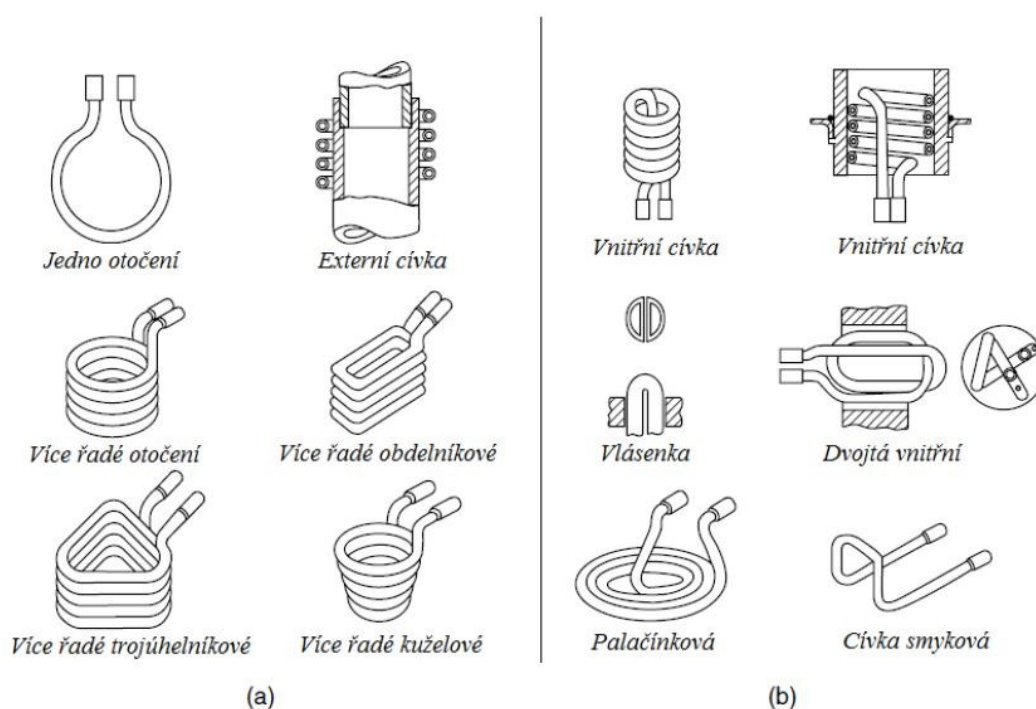
Vzdálenost cívky se také nazývá jako spojovací faktor. Tento faktor je velmi důležitý z pohledu účinnosti indukčního ohřevu. Pokud je vzdálenost mezi induktorem a součástí příliš malá, může dojít k tvorbě bublin. Na obrázku je znázorněn pojem volné a zavřené spojky. [5]



Obr. 6 Zavřená a volná spojka [5]

1.5.5 Induktor

Induktor je pracovní nástroj, který předává elektrickou indukční energii vyrobenou indukčním generátorem do pájené součásti. Účinnost indukčního ohřevu se odvíjí především od konstrukce induktoru a jeho polohy vzhledem k pájené součásti. Na obrázku je vidět několik tvarů induktorů, které se v praxi široce používají.



Obr. 7 Typické tvary induktorů, které se používají při indukci jako zdroje tepla

a) vnější topení b) vnitřní vytápění a rovné plochy [5]

1.6 Pájky

Pájka je přídavný materiál, který je použit u pájení. Vlastnosti pájek se posuzují z těchto hledisek:

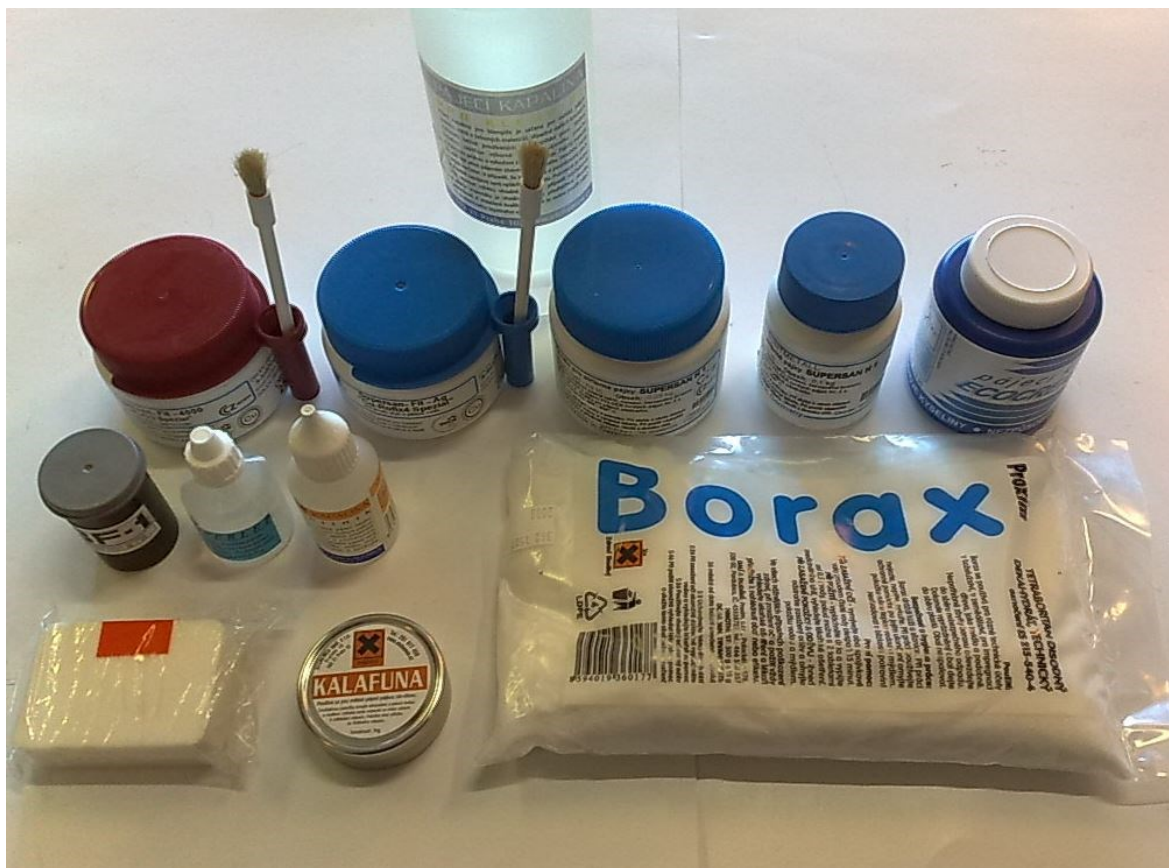
- pájka má mít nižší teplotu tání než spojované materiály
- interval tavení pájky, která je určena pro kapilární pájení by měl být úzký, což je méně než 100 °C, popřípadě se volí eutektické složení pájky

- pájka nemusí mít stejné ani podobné chemické vlastnosti jako spojované materiály na rozdíl od svařovacího drátu
- pro pájení kapilární je nutné, aby měla pájka dobré pájecí vlastnosti, jako jsou smáčivost, roztékavost a vzlínavost
- pájecí vlastnosti jsou závislé na chemickém složení pájky
- prvky pájky a základního materiálu by měly mít určitou rozpustnost a difúzní schopnost. Tohle ale závisí i na kombinaci pájka – základní materiál, době pájení a teplotě
- výhodou je, když má pájka v roztaveném stavu malé povrchové napětí a nízkou viskozitu. Avšak tyto hodnoty jsou závislé na chemickém složení a výši pracovní teploty
- kvůli možné pozdější korozi je vhodné, aby měly prvky pájky malý rozdíl elektrochemického potenciálu ve styku s použitým základním materiálem
- pájka musí mít dobré mechanické vlastnosti, jako jsou pevnost ve smyku, pevnost v tahu, ale také musí mít hlavně schopnost vytvořit pevný spoj
- čisté kovy mají sice dobré pájecí vlastnosti a vysokou tažnost, ale mají nižší pevnost. Naproti tomu eutektické pájky mají podobné pájecí vlastnosti jako čisté kovy, ale vykazují větší tvrdost, pevnost a křehkost [1]

1.7 Tavidla

Tavidla jsou chemické látky, které slouží ke zlepšení technologie pájení. Tavidla chrání pájku i základní materiál před účinky okolního prostředí neboli oxidací. Tavidla musí dokonale smáčet pájku i základní materiál. Forma tavidel je různá. Může to být prášek, kapalina nebo forma pasty. Za tavidlo se dá v určitých případech považovat i vakuum.

Zvolení tavidla je závislé na více faktorech, nejvíce však od použitého základního materiálu a přídavného materiálu – pájky a jeho teploty tavení. U měkkého pájení se používají tavidla, která mají reakční teplotu do 400 °C, pro tvrdé pájení nad 500 °C. Tavidla by měla mít stále povrchové napětí. Hustota tavidla musí být menší než hustota pájky. Dále musí být tavidlo zdravotně nezávadné a chemicky stálé. [1]



Obr. 8 Tavidla [11]

Podle účinku se tavidla dělí na:

- tavidla s leptavým účinkem – s halovými a kyselinotvornými složkami
- tavidla bez leptavého účinku – většinou jsou na bázi pryskyřice

Tavidla, která jsou s leptavým účinkem, mohou mít díky vlivu teploty a rozkladných reakcí výsledný účinek neleptavý, tzn. nepůsobící korozi.

Dále se tavidla dělí podle způsobu pájení na:

- tavidla pro měkké pájení
- tavidla pro tvrdé pájení

Mezi základní požadavky na tavidla patří:

- v co možná největší míře podporovat smáčení základního materiálu a pájky
- schopnost v maximální možné míře a zároveň co nejrychleji rozpouštět povrchové oxidy základního materiálu a pájky ještě před pájením

- stálost chemicko-fyzikálních vlastností při pájení, tzn. příznivá viskozita, mezifázové a povrchové napětí, interval teplot tavení a hustota
- co nejmenší tvorba zdraví škodlivých sloučenin, plynů při pájení a kovových par
- snadná odstranitelnost zbytků tavidla po vychladnutí spoje [1]

2. Konstrukční řešení

Konstrukce strojního zařízení musí být navržena tak, aby zohledňovala tyto faktory:

- bezpečnost
- spolehlivost a stabilitu procesu

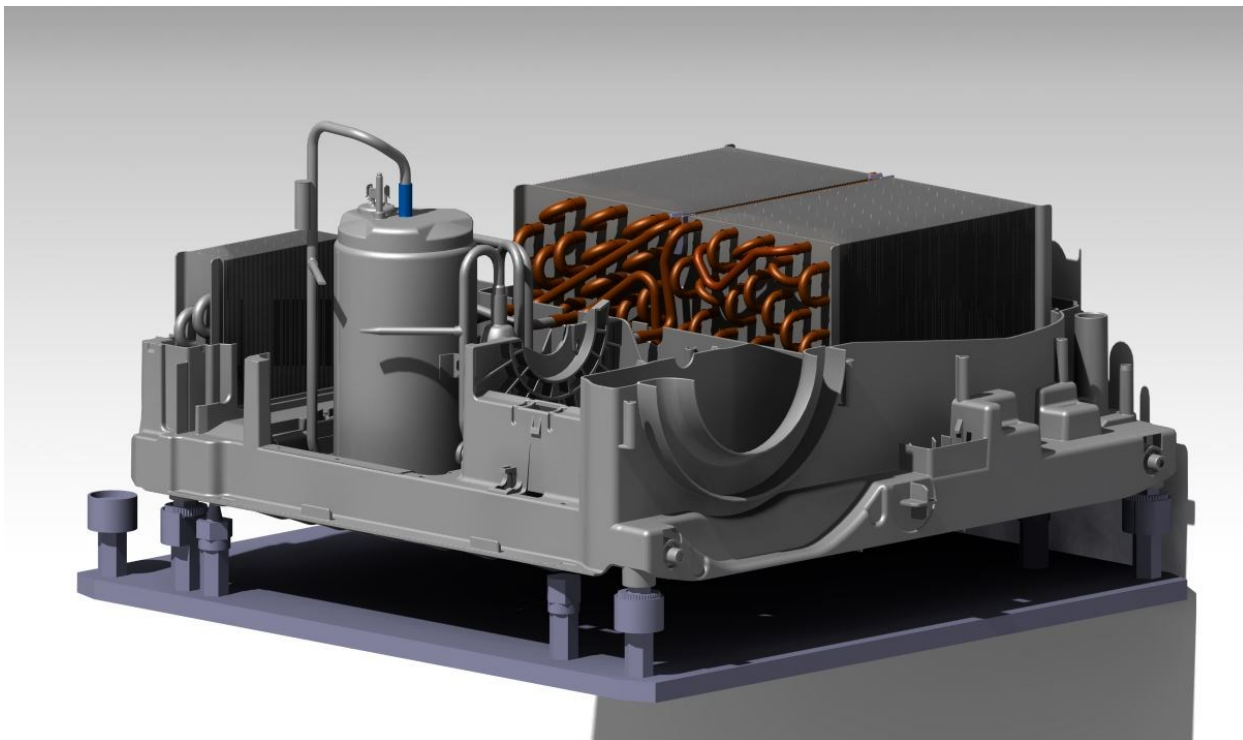
Z výše uvedeného je nutné zařízení navrhnout v ochranné kabině a zároveň s kalibrací stroje. Kalibrace se musí vykonat vždy před zahájením práce na stroji.

Návrh strojního zařízení se odvíjí od vstupního elementu a to je manipulační vozík, který je vidět na obr. 9.



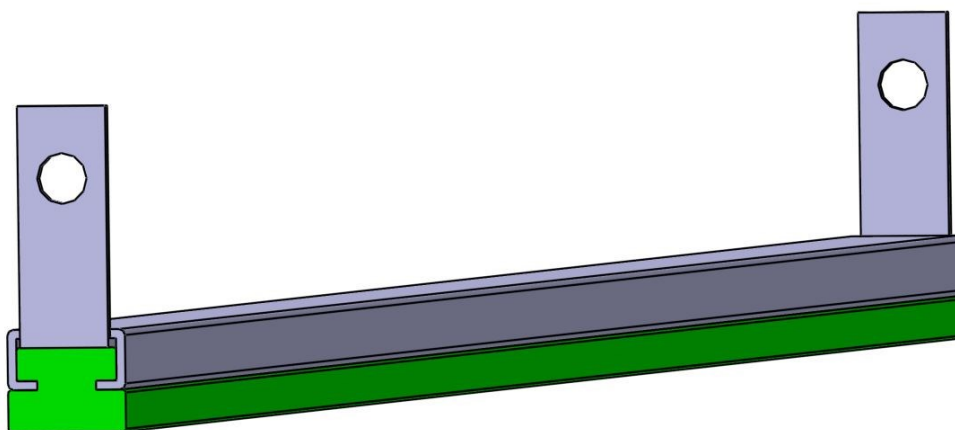
Obr. 9 Manipulační vozík

Na manipulační vozík je přidělaná deska a na tuto desku se pokládá smontovaný podlahový modul, který je připraven pro indukční pájení. Deska i s podlahovým modulem je na obr. 10.



Obr. 10 Podlahový modul s deskou

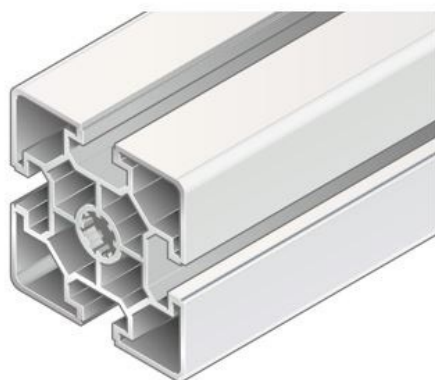
Dále má na sobě manipulační vozík připevněny dva C profily, do kterých se vsouvají protikusy. Tyto protikusy jsou vyrobeny z nízko hustotního polyetylénu a jsou od společnosti Murtfeldt. Mezi C profilem a vkládaným protikusem je mezera. V této mezeře je zasunut ohnutý plech, pomocí kterého je profil upevněn k vozíku.



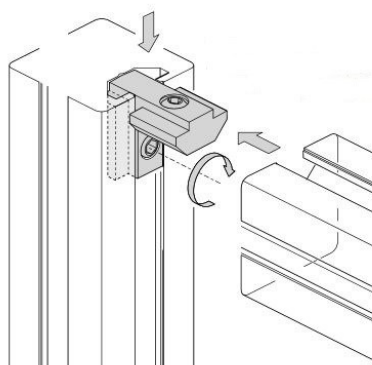
Obr. 11 C profil s vedením pro dopravník

2.1 Kabina pro robot

Rám kabiny pro robot se skládá z hliníkových profilů od společnosti Bosch Rexroth. Tyto profily umožňují jednoduché spojování více profilů k sobě, což je vidět obr. 13 a připojení dalších součástí k rámu pomocí spojovacích prvků. Rám složený z hliníkových profilů je velmi lehký a zároveň dostatečně tuhý. Na obr. 12 je vidět tvar profilu.

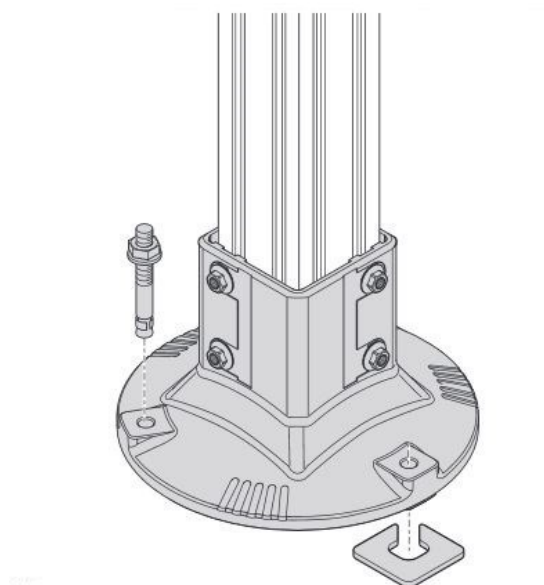


Obr. 12 Tvar profilu firmy Bosch Rexroth



Obr. 13 Spojování profilů

Základem rámu jsou čtyři stojny, které jsou zkonstruované z profilů 60 x 60 mm. Tyto stojny jsou zamontovány do nožek pomocí T-matic a šroubu M8. Pro ukotvení nožky k podlaze poslouží tři kotvící šrouby.



Obr. 14 Stojna rámu s nohou [10]

Rám kabiny má obdélníkový půdorys. V horní části na kratších stranách rámu jsou stojny spojeny profily o rozměrech 60 x 60 x 1515 mm. Na delších stranách jsou profily o rozměru 60 x 60 x 2000 mm.



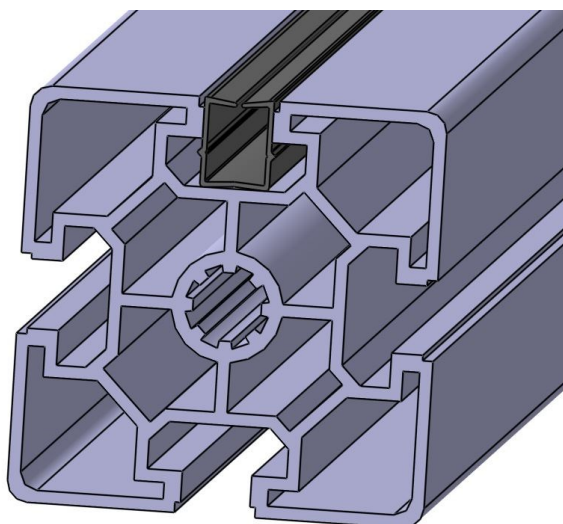
Obr. 15 Kostra rámu kabiny pro robot

Na delších stranách rámu kabiny pro robot jsou otvory, které slouží pro průjezd vozíku s podlahovým modulem. Otvor je ohraničen stojnou, která je z profilu o rozměru 40 x 40 mm. Stojna je zakončena stavitelnou nožkou M12 x 85 mm. Zbytek stěny je vyplněn ochranným sklem.



Obr. 16 Rám kabiny pro robot s otvorem pro dopravník

Do profilových drážek jsou vloženy tyto podpěry, které slouží pro bezpečné upevnění ochranných skel. Ochranná skla mají za úlohu zastínit pracovní prostor robot.



Obr. 17 Podpěra pro uchycení skla

2.2 Dveře do kabiny

Na obou kratších stranách se nacházejí dveře. Jedny dveře jsou dvoukřídlé a budou sloužit pro umožnění přístupu do pracovního prostoru robota. Druhé dveře mají za úkol umožnit přístup k zadní části robota pro případný servis.



Obr. 18 Dveře složené z profilů

Dveře jsou složeny opět z hliníkových profilů od firmy Bosch Rexroth. Profily mají rozměr průřezu 40 x 40 mm. Volné konce profilů jsou zakryty plastovými krytkami o velikosti 40 x 40 mm, černé barvy.



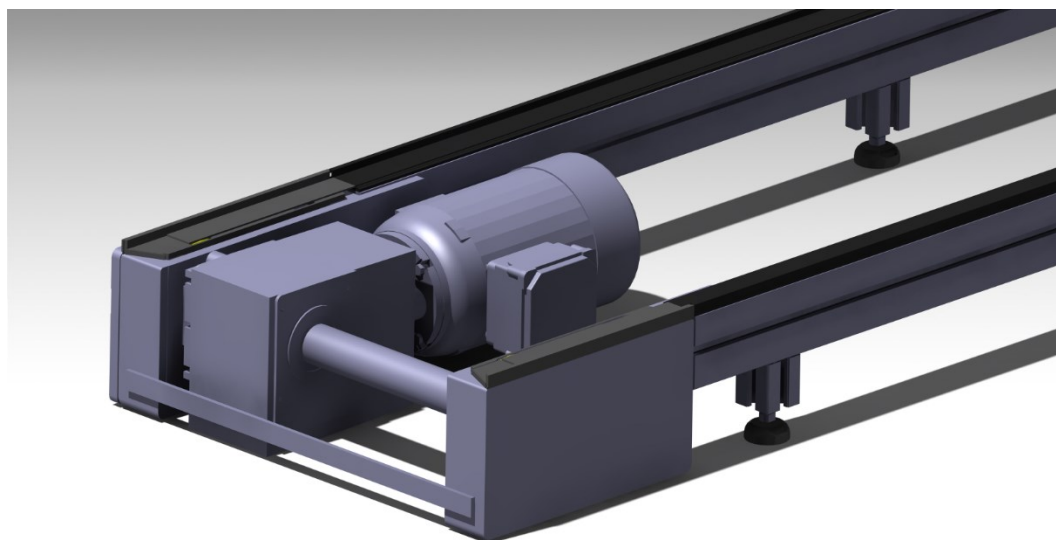
Obr. 19 Zakrytované konce profilů

Dveře jsou opatřeny klikou a elektronicky blokováné tak, aby nedošlo k jejich otevření během chodu robotu a zároveň tak, aby vyhovovaly legislativě ČR.

2.3 Řemenový dopravník

Zadavatel diplomové práce dlouhodobě používá různé druhy dopravníků od společnosti Bosch Rexroth. Z tohoto důvodu je v práci řemenový dopravník unifikován. Dopravník slouží k vodorovné přepravě manipulačního vozíku s podlahovým modulem.

Řemenový dopravník od společnosti Bosch Rexroth se skládá z hnací a hnané jednotky. Hnací jednotka má umístění motoru jednotlivými větvemi a jeho natočení je 90°. Rozteč dopravníku je 480 mm a rychlost řemene je 15 m/min.



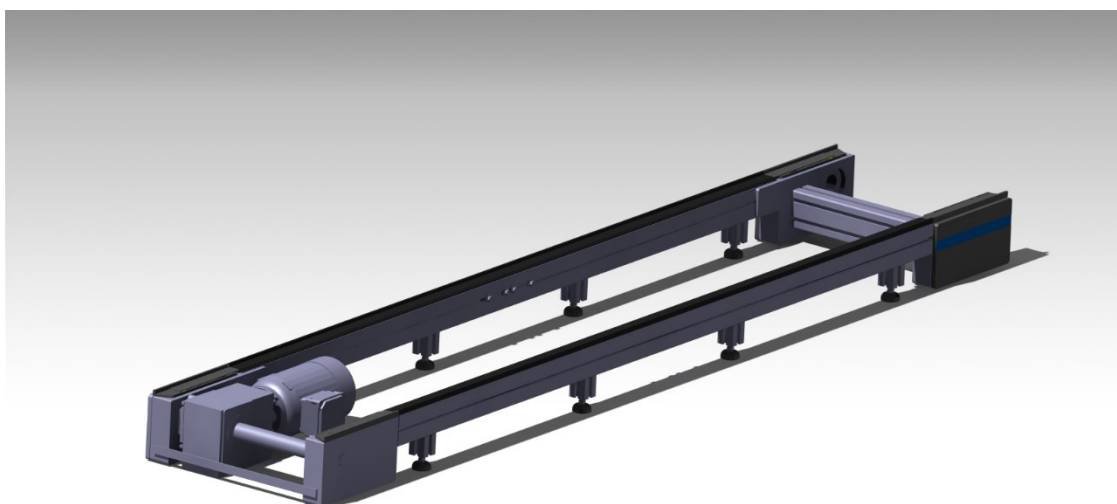
Obr. 20 Hnací jednotka s motorem

Rám dopravníku je tvořen čtyřmi hliníkovými profily o délce 1000 mm. Na tyto profily je nasazené vedení pro řemen. Profily jsou spojeny spojkou ve tvaru T, která se vloží do drážky profilu a čtyřmi šrouby se utáhne. Rám je po své délce podepřen stavitelnými nožkami, které jsou zašroubovány do profilů s délkou 50 mm a průřezem 40 x 40 mm.



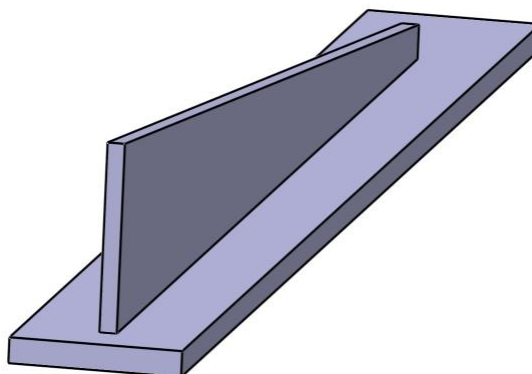
Obr. 21 Spojka ve tvaru T [11]

Hnací i hnaná jednotka je umístěna na zem. Řemen se nachází ve výšce 162 mm. Osová vzdálenost dopravníku je 2420 mm.



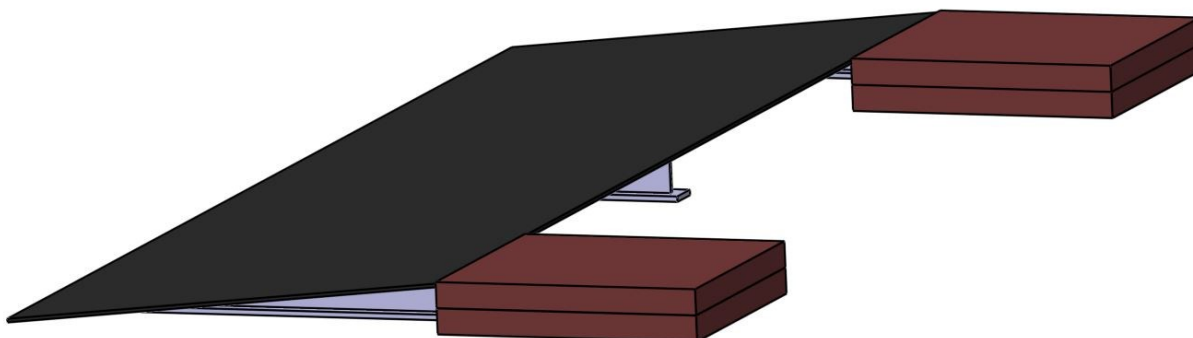
Obr. 22 Řemenový dopravník

Pro plynulý nájezd vozíku na dopravník je před dopravníkem umístěna nájezdová rampa. Hlavní částí nájezdové rampy je plechová deska o tloušťce 2 mm, která je vyztužena třemi žebry s pásnicí. Žebro má tloušťku plechu 2 mm a pásnice 3 mm.



Obr. 23 Žebro s pásnicí

Za rampou jsou upevněny dřevěné desky, které pomáhají k unášení manipulačního vozíku. Nájezdová rampa se také nachází na druhém konci řemenového dopravníku.



Obr. 24 Nájezdová rampa

2.4 Robot

Hlavním prvkem strojního zařízení je průmyslový robot od firmy Stäubli model TX90L. Maximální nosnost robotu je 15 kg. Jde o univerzální šestiosý robot, který je určen pro manipulaci s malou zátěží. Tento robot se hodí pro nejrůznější aplikace jako je manipulace či montáž. Pro konkrétní aplikaci je nutné robot rozšířit o vhodný koncový efektor.

Velkou výhodou robotu je rozmanitost montáže pro úplnou integraci, tzn., může být uchycen na strop, zeď nebo podlahu. Robotické rameno je robustní s plně uzavřenou konstrukcí, která má třídu krytí IP65.

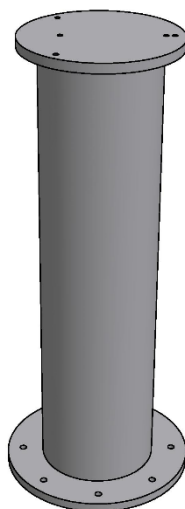


Obr. 25 Robot od firmy Staubli model TX90L [11]

2.5 Podstavec pro robot

Podstavec je vytvořen z trubky $\varnothing 144,5 \times 16$ mm. Na tuto trubku jsou z každé strany přivařeny příruby, které jsou z plechu o tloušťce 20 mm. S ohledem na požadavek na velkou tuhost je celá konstrukce značně pevnostně předimenzovaná. Velikosti svarů neodpovídají tloušťkám svařovaných průřezů podle zásad navrhování svarů.

Z pevnostního hlediska se může podstavec pro robot vyrobit z obyčejné konstrukční ocele S235. Pouze z důvodu řezání závitu je horní příruba vyrobena z ocele S355.



Obr. 26 Podstavec pro robot

2.6 Průmyslový chladič

Pro toto strojní zařízení je zvoleno průmyslové chlazení „Taevo TECH“ typ 020. Jedná se o kompaktní kompresorovou chladicí jednotku se vzduchem chlazeným kondenzátorem, který je určený pro chlazení vody průmyslových technologií. Integrovaný hydraulický modul o objemu 25 až 500 litrů zajišťuje nejen akumulaci chlazené vody, ale slouží také k zabránění velkým výkonnostním špičkám z technologie.



Obr. 27 Průmyslový chladič Taevo TECH [12]

2.7 Zařízení pro indukční pájení

Jako nejvhodnější zařízení bylo pro pájení měděných trubek zvoleno zařízení SINAC 12/18 SM. Technické parametry jsou znázorněny v tabulce č. 1. Jedná se o moderní víceúčelovou indukční jednotku. Tato jednotka dokáže splnit širokou škálu topných úkonů pájení, přehřívání apod. Obsluha jednotky je velmi jednoduchá.



Obr. 28 Rozvaděč SINAC 12/18 SM [13]

Tabulka č. 1 Technické parametry rozvaděče SINAC 12/18 SM

Model	SINAC 12/18 SM		
Výkon		Chlazení	
Trvalý vstupní výkon	12 kW	Spotřeba vody	9 l / min
Max. vstupní výkon přerušovaný	18 kW	Vstupní teplota vody	Max. 35 °C
Duty factor / doba cyklu	50% / 10 min	Tlak vody min. / Max	4 / 6 bar
Výstupní regulace výkonu rozsah	2 – 100 %	Chladicí kvality vody – pH	Mezi 7,0 a 9,0

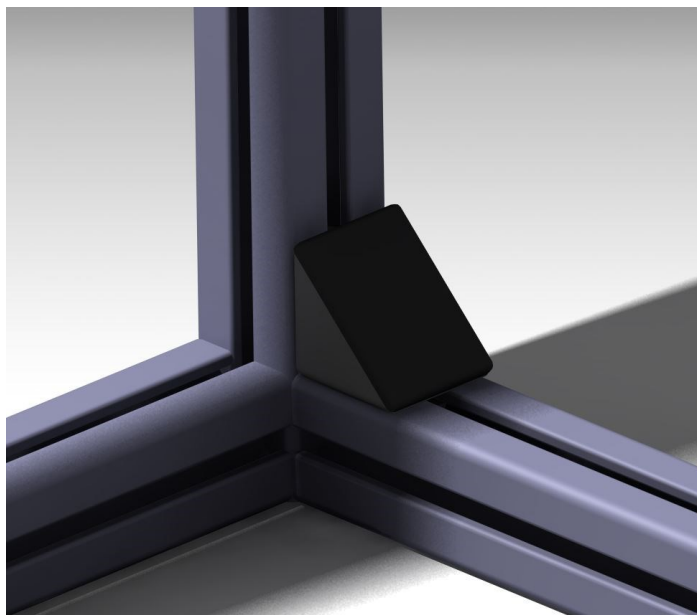
Frekvenční rozsah	10 – 25 kHz	Příloha	
HHT 240 napájecí délka kabelu	5 m (10 m)	Okolní provozní teplota	+ 5 °C – +50 °C
dodávka		Vnější rozměry skříňe (Š x H x V)	600 x 350 x 760 mm
Rozsah napájecího napětí	3 x 400 – 480 V ±10 %	Hmotnost s HHT 240 cca.	90 kg
Frekvence	50 / 60 Hz	Krytí	IP 54
Jmenovité napětí	400 V	Barva	RAL 7035 Grey
Jmenovitý síťový proud	22 A (RMS)	HHT 240 vnější rozměr (L x OD	132 x 77 mm
Max. síťový proud přerušovaný	31 A (RMS)	HHT 240 Hmotnost bez rukojeti	3,5 kg
Jmenovitý zdánlivý výkon	15 kVA		
Maximální zdánlivý výkon	21 kVA		
Doporučená pojistka	32 Amp		

Pro snazší obsluhu je rozvaděč upevněn ke konstrukci z hliníkových profilů.



Obr. 29 Držák rozvaděče SINAC

Všechny profily mají průřezový rozměr 40 x 40 mm. Ke dvěma základním profilům o délce 1630 mm jsou připojeny menší profily, které zajistí stabilitu držáku. Základní profily jsou vodorovně spojeny třemi kratšími profily o délce 530 mm. Ve spodní části je držák vyztužen pomocí úhelníku, který je vidět na obr. 30.



Obr. 30 Úhelník pro zpevnění

Držák je dále zpevněn profilem, na jehož koncích jsou polohovatelné spojky. Tyto spojky jsou vidět na obr. 31. Volné konce profilů jsou zakryty plastovými krytkami o velikosti 40 x 40 mm, černé barvy.



Obr. 31 Polohovatelná spojka

2.8 Odsávání

Odsavač se používá k odsávání škodlivin a prachu, které vznikají při pájení. Jedná se o univerzální stavebnicový odsavač od společnosti EKO – ŠIMKO typ SOS SV 262.1. P.

V tabulce č. 2 jsou znázorněny technické parametry odsavače.



Obr. 32 Odsavač SOS SV 262.1. P

Tabulka č. 2 Technické parametry odsavače EKO - ŠIMKO typ SOS SV 262.1. P

Výška	790 mm
Šířka	512 mm
Délka	550 mm
Průměr sání	80 mm
Napětí	400 V
Maximální průtok	900 m ³ / h
Maximální podtlak	1,35 kPa
Hmotnost	45 kg
Hluk	68 dBA
Filtr 1. stupeň	Plošný
Filtr 2. stupeň	Hepa
Filtr 3. stupeň	Chemický
Příkon	550 W

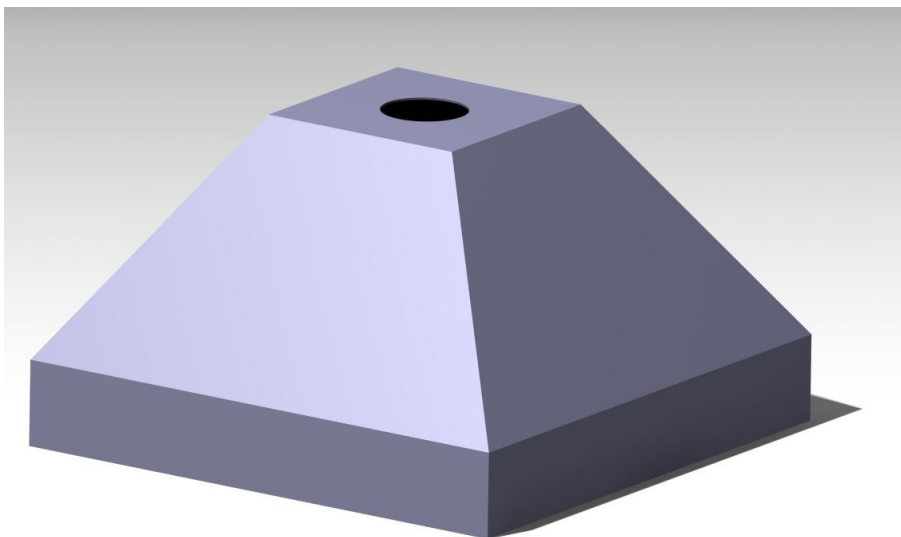
Pro ušetření místa a zmenšení kabiny pro robot je odsavač umístěn nad průmyslovým chladičem. K tomuto účelu byla navržena jednoduchá konstrukce z hliníkových profilů.



Obr. 33 Držák odsavače

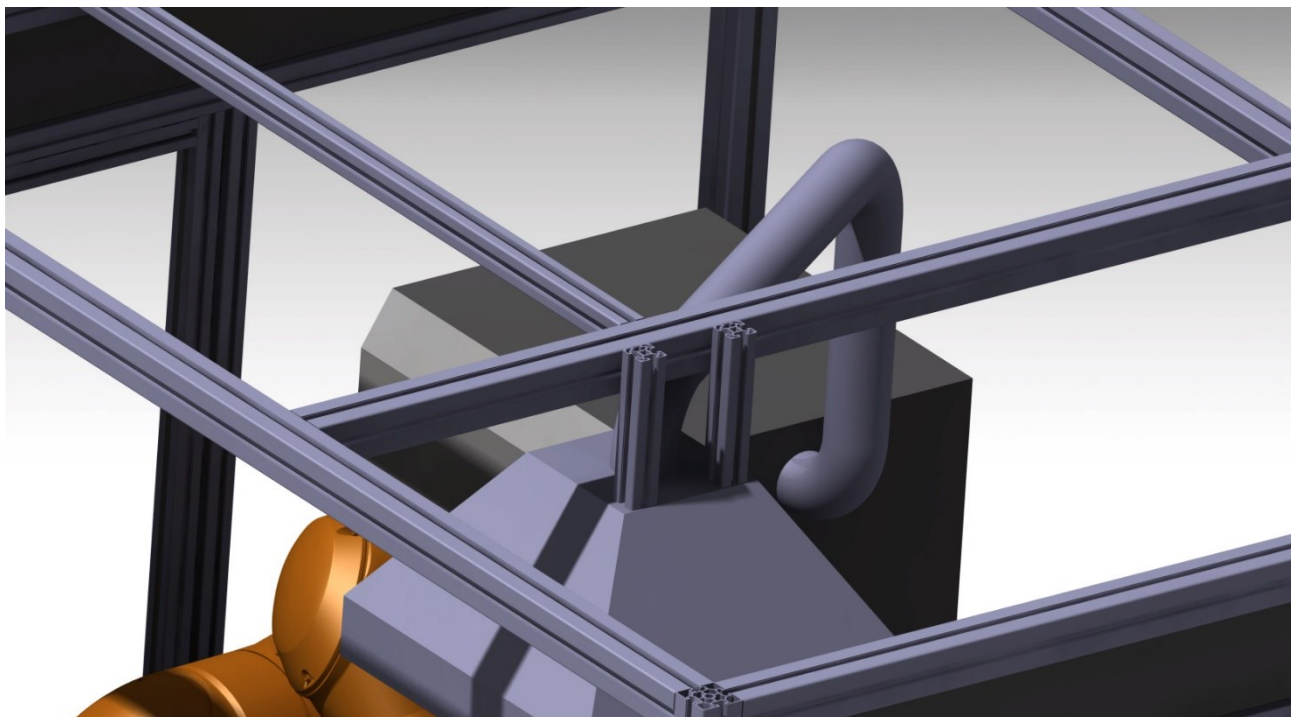
Základem konstrukce jsou 4 stojny z profilů s rozměrem průřezu 40 x 40 mm. Do spodní části stojny je zamontována stavitelná nožka o rozměru M8 x 80 mm. V horní části jsou stojny spojeny pomocí dalších hliníkových profilů. Volné konce profilů jsou zakryty plastovými krytkami o velikosti 40 x 40 mm, černé barvy.

Z odsavače vystupuje potrubí odsávání o průměru 80 mm. Potrubí vede do průmyslové digestoře, která zachytává výpary z pájení. Digestoř je zhotovena jako svařenec z plechu o tloušťce 2 mm. Na obr. 34 je vidět svařená průmyslová digestoř.



Obr. 34 Průmyslová digestoř

Na průmyslovou digestoř jsou připevněny dva hliníkové profily, které mají průřez o rozměru 40 x 40 mm a délku 200 mm. Následně je tento celek připevněn k profilu, který rozděluje vrchní část kabiny pro robota přibližně na dvě poloviny. Toto je ukázáno na obr. 35.

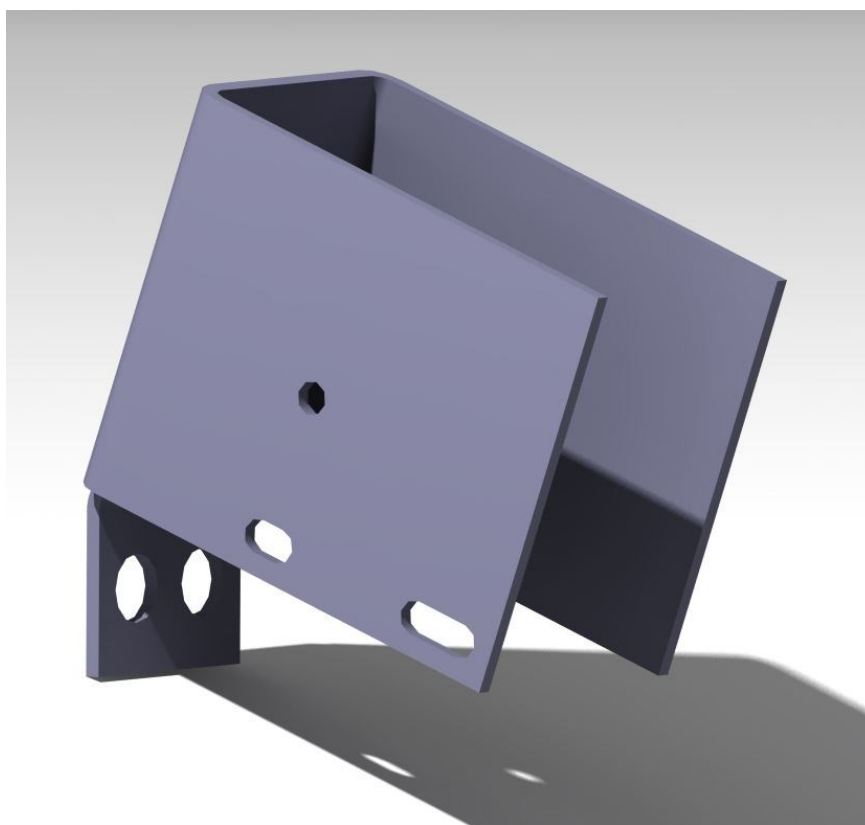


Obr. 35 Uchycení průmyslové digestoře

3. Návrh držáku pro robot

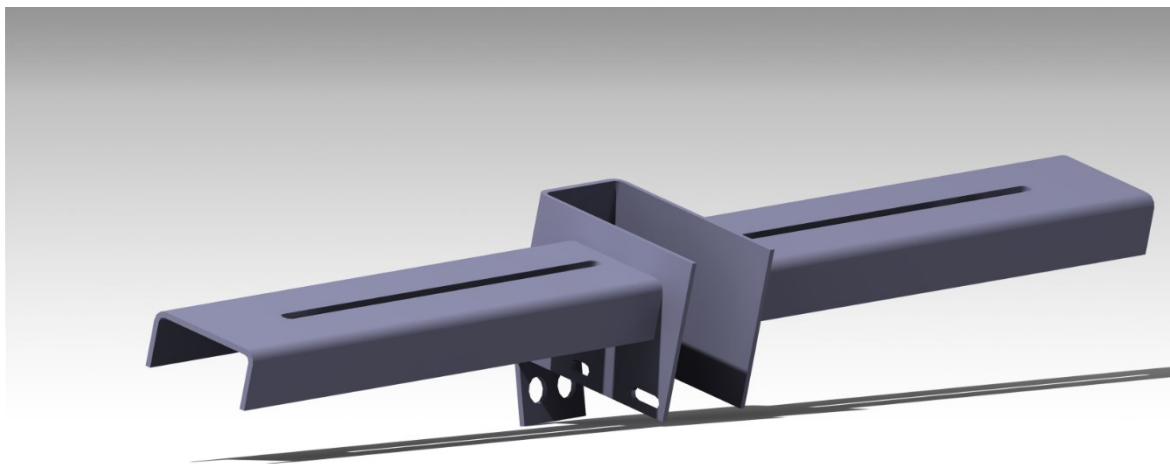
Diplomová práce se také zabývá návrhem držáku pro robot. Na držáku se nachází kamera, která fotí pájený spoj a snímač osy Z. Dále je na držák připevněn pyrometr s induktorem.

Základem držáku je ohnutý plech s tloušťkou 2 mm. Na tento plech se upevňuje kamera a doplňkové světlo. Kamera je upevněna dvěma šrouby. Spodní otvor pro šroub kamery umožňuje natáčení kamery v rozmezí 8° .



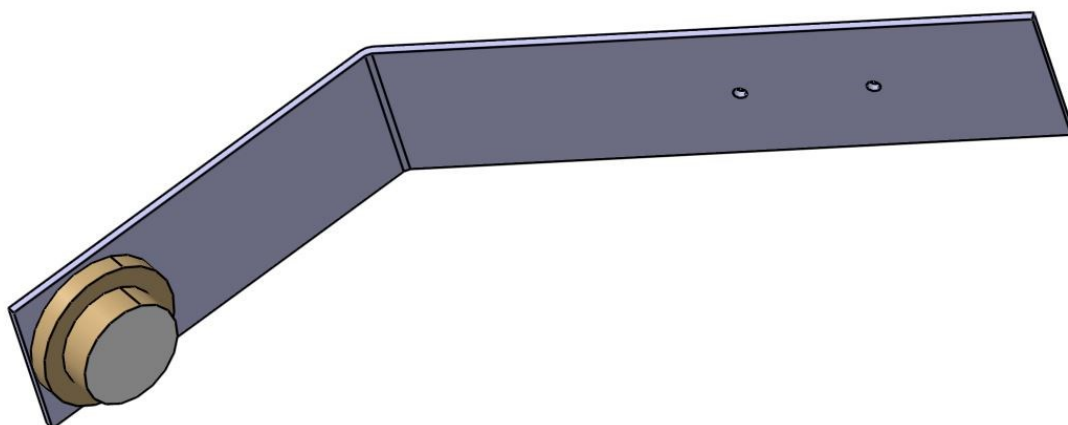
Obr. 36 Ohnutý plech držáku

Na plech jsou přivařeny dva další plechy, které jsou ve tvaru U, aby se dosáhlo větší tuhosti. Tyto plechy mají v sobě drážku, aby byla umožněna aretace.



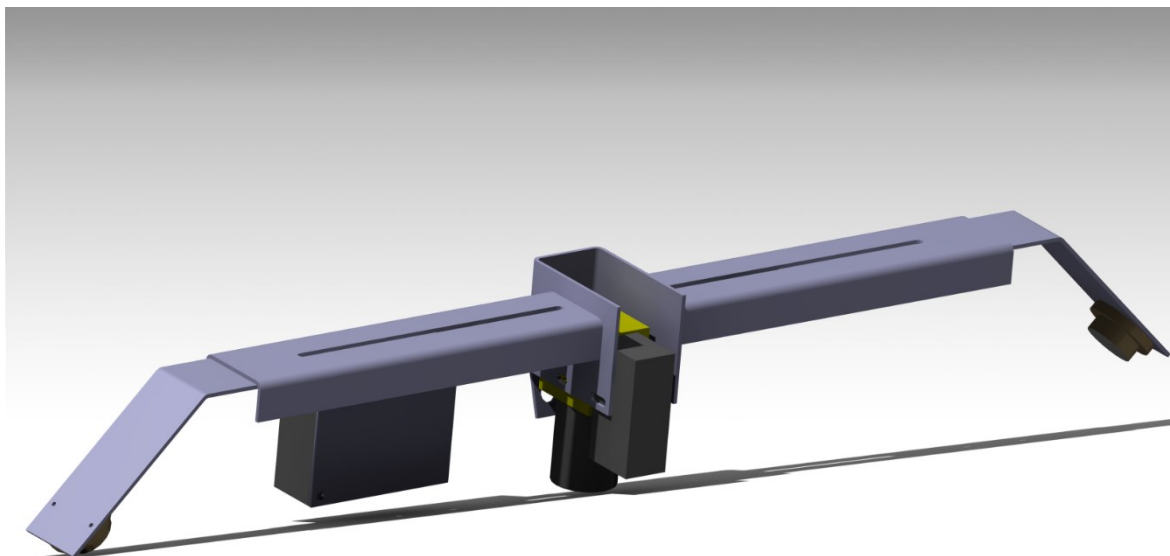
Obr. 37 Navařené U plechy s drážkou

Do plechů ve tvaru U se vloží pásnice, na které jsou namontována světla. Světla slouží k nasvícení pájeného spoje a jsou připojena k pásnici pomocí dvou šroubů s velikostí M2 x 10. Na pásnici jsou také dvě závitové díry pro dva šrouby M4 pomocí kterých se může pásnice aretovat.



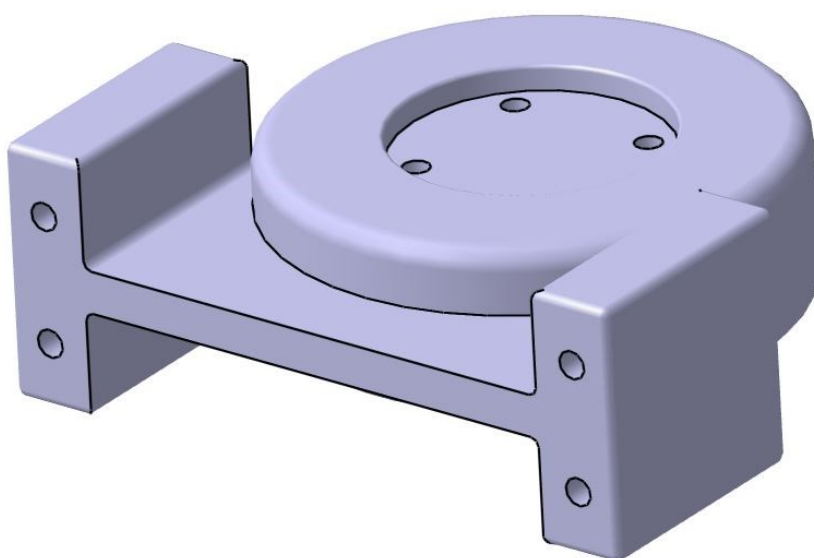
Obr. 38 Ohnutá pásnice se světlem

Na jednom plechu ve tvaru U se nachází snímač osy Z. Snímač je přišroubován na plech, který je přivařen na plech s drážkou.



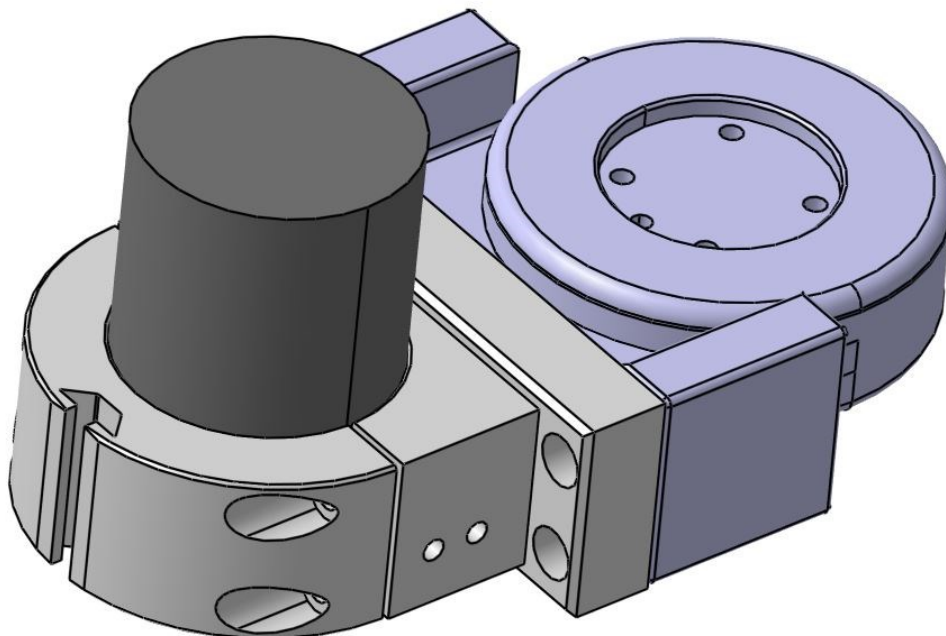
Obr. 39 První část držáku

První část držáku je vidět na obr. 39. Druhá část držáku se skládá z příruby, která se upevňuje na rameno robotu. Příruba je na obr. 40.



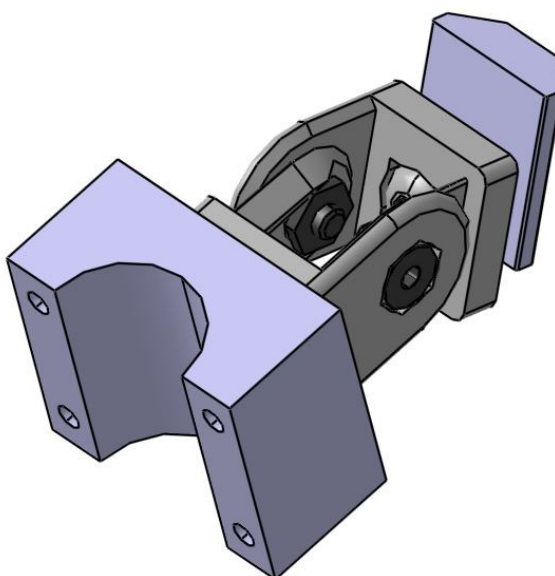
Obr. 40 Příruba

K přírubě se přišroubuje držák, který je složen ze dvou částí. Mezi oběma částmi je upevněna pájecí hlava. První část držáku je upevněna k přírubě pomocí čtyř šroubů. Na tento díl je také upevněna první část držáku. K tomu slouží dva šrouby.



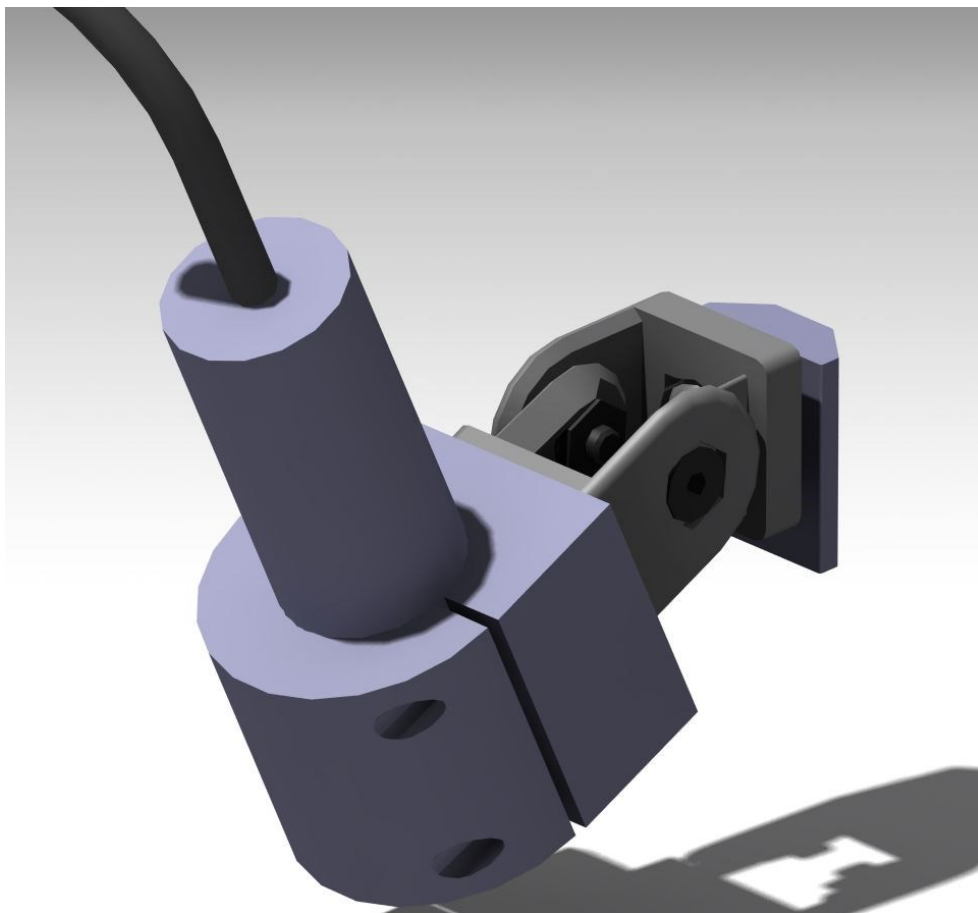
Obr. 41 Druhá část držáku s pájecí hlavou

Na obr. 41 je také vidět druhá část držáku pájecí hlavy. V ní je udělána drážka, do které je vsunut oříšek. Do oříšku se připevní ohebná spojka od společnosti Haberkorn. Ohebná spojka a oříšek jsou spojeny šroubem M5 x 12 mm.



Obr. 42 Ohebná spojka s oříškem a částí držáku pyrometru

K druhému konci spojky se přišroubuje držák pyrometru, který je podobně jako držák pájecí hlavy složen ze dvou částí. Tyto části jsou spojeny čtyřmi šrouby.

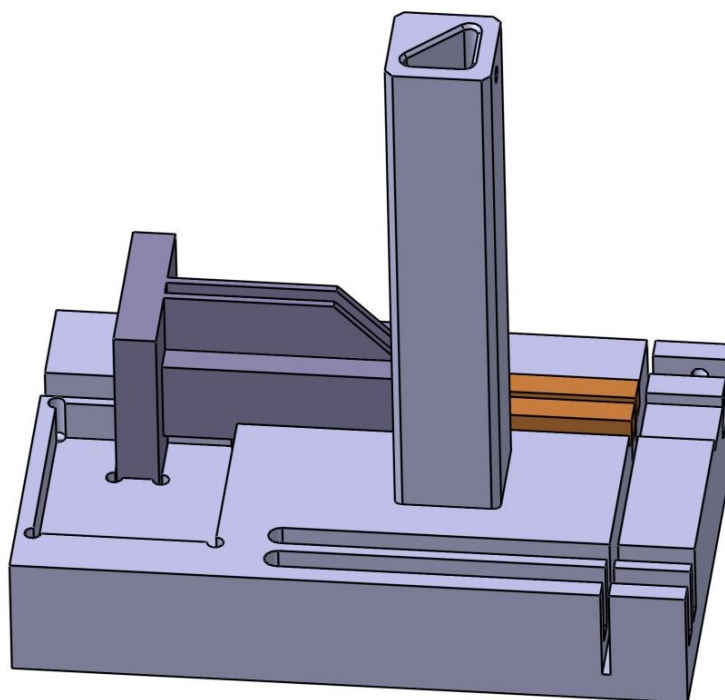


Obr. 43 Držák pyrometru s pyrometrem

4. Přípravek na výrobu induktoru

Následující kapitola popisuje konstrukční řešení přípravku, který usnadní výrobu pájecího induktoru.

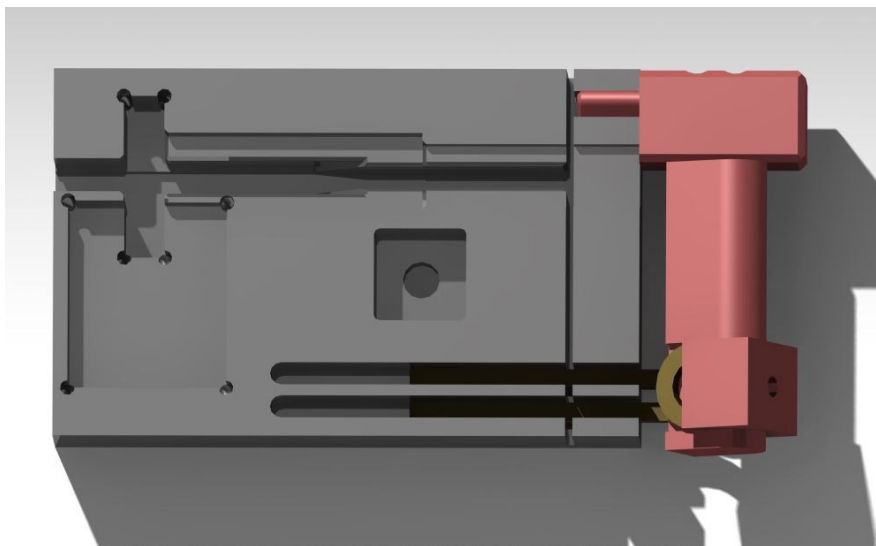
Drážka pro induktor v horizontální poloze slouží k ustavení induktoru tak, aby se dal snadno zkrátit na požadovanou délku. Tělo induktoru po zkrácení je na obr. 44.



Obr. 44 Ustavení těla induktoru pro zkrácení

Pokud je zkráceno tělo induktoru na požadovanou délku, tak se tělo induktoru odkládá do vybrání, které zajišťuje tělo induktoru ve vertikální poloze.

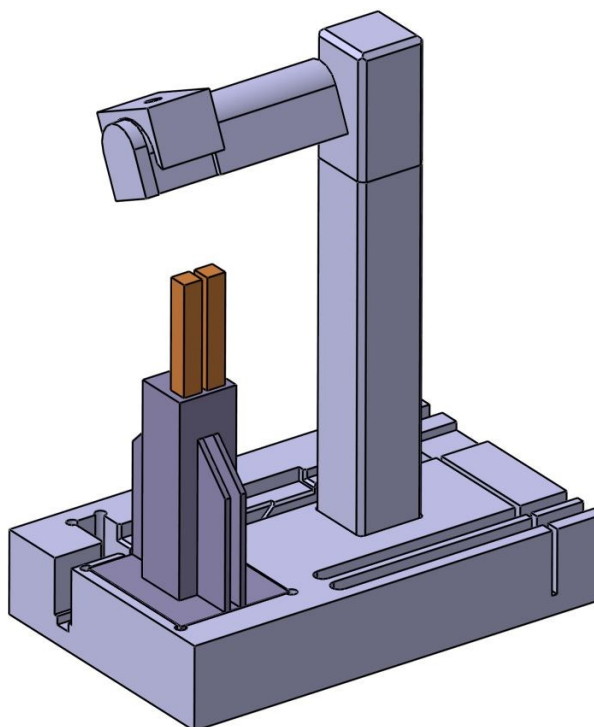
Do průchozí trojúhelníkové drážky se vsouvá držák induktoru, na kterém je upevněna druhá část induktoru. Držák induktoru se v drážce zajišťuje pomocí křídlového šroubu. Takto zajištěný držák induktoru je na obr. 45.



Obr. 45 Ustavení ohnuté části induktoru

Po zkrácení druhé části induktoru se držák upevní na sloupek, ve kterém je také trojúhelníková drážka. Tato drážka zajišťuje správný způsob upevnění držáku induktoru na sloupku.

Na obr. 46 je vidět stav, kdy je tělo induktoru posazeno do vybrání. Na držák se upevní ohnutá část induktoru a obě části se spájí.



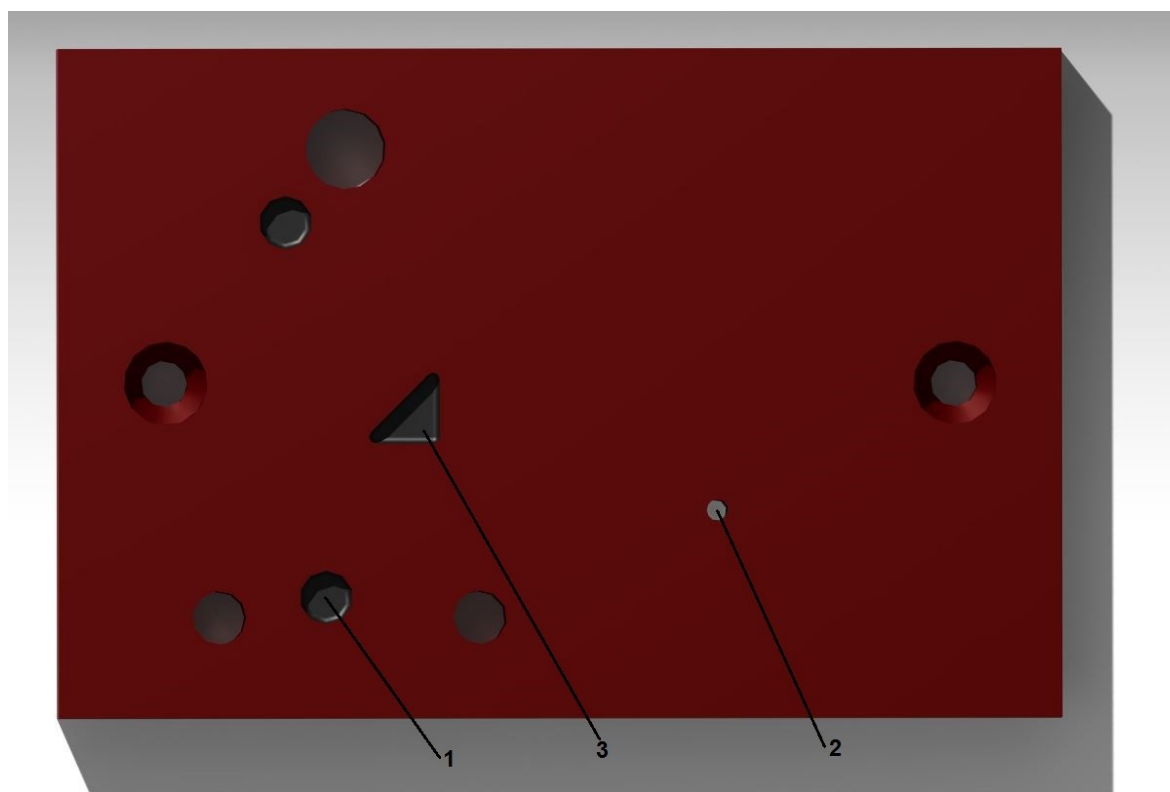
Obr. 46 Přípravek na výrobu induktoru

5. Přípravek na optickou kalibraci robotu

V této kapitole je přiblížen přípravek na optickou kalibraci robotu. Optickou kalibraci provádí obsluha vždy na začátku směny a pak kdykoli v průběhu směny dle potřeby. Robot při zapnutí kalibrace najede na definovanou pozici, která se nachází nad kalibrační deskou. Obsluha zapne pilotní laserový paprsek pyrometru a ten při správném nastavení směřuje do otvoru (pozice 1). Kamera zkontroluje, zda je bod v pozici a v rozsahu tolerance v ose X a Y.

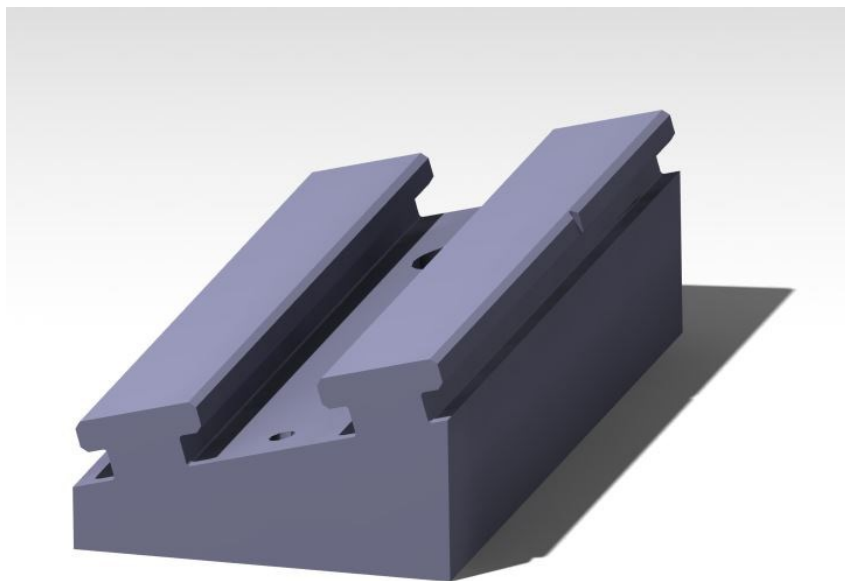
Pokud kontrola vyhovuje, přechází kontrola do druhého kroku – kontrola osy Z. K této kontrole slouží laserový analogový snímač. Pilotní paprsek směřuje do prohlubně imbusového šroubu M4, který je na pozici 2. Hodnota musí být v zadané toleranci. Kamera si zároveň kontroluje osy X a Y podle obrazce - pozice 3. Pokud je obrazec v toleranci podle předlohy a parametrů uložených v kameře, je test ukončen.

V případě, že jsou naměřené hodnoty mimo tolerance, test se opakuje až do úspěšného dokončení s hodnotami v toleranci.



Obr. 47 Kalibrační deska s popisem pozic

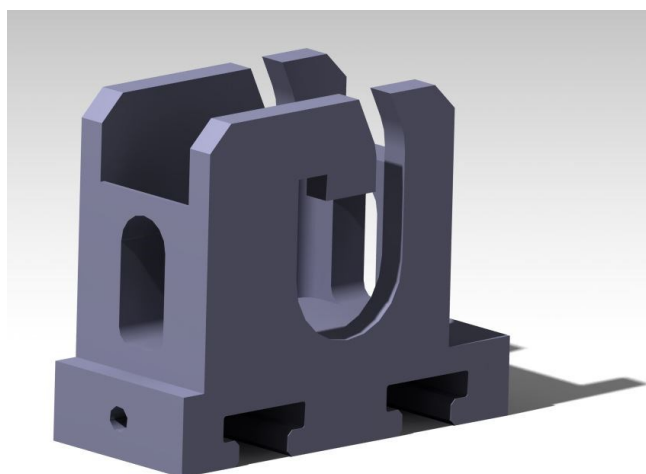
Na obr. 48 je další část přípravku, což je základna, která má dvě vedení ve tvaru T. Jedno vedení má drážku, do které zapadá kuličkový šroub.



Obr. 48 Základna s vedením

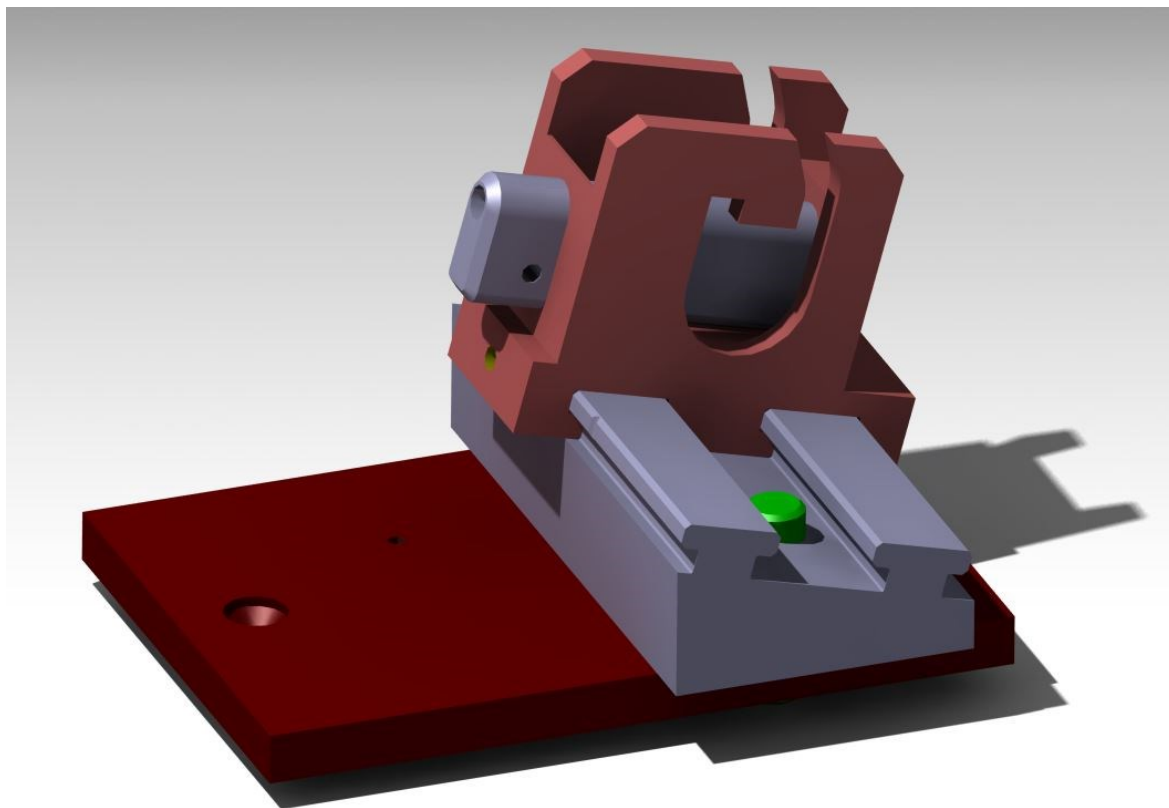
Na obr. 48 jdou také vidět dvě díry. Tyto díry jsou průchozí. Menší díra je závitová a slouží jako doraz. Větší díra je pro kolík, který funguje jako doraz a zároveň je určen k ustavení. Ze spodní strany základny jsou další dvě díry pro kolíky, které slouží také pro ustavení.

Po vedení se pohybuje domek. Domek má v bočních stranách otvory ve tvaru induktoru. V domku jsou také otvory pro vsunování kalibru.



Obr. 49 Domek

Základna s vedením se pomocí tři kolíku upevní do kalibrační desky. Deska má v sobě kalibrační otvory, které jsou zakápnuté černou barvou. Zápustné díry jsou určeny k upevnění kalibrační desky ke konstrukci.



Obr. 50 Přípravek na kalibraci robotu

Závěr

Prvním cílem diplomové práce bylo provést stručnou rešerši a analyzovat problematiku pájení. Tomuto se věnuje kap. 1 a její podkapitoly. Úvodní část rešerše se nejprve zabývala všeobecně technologií pájení a jejím rozdělením. Dále byly v rešerši popsány dvě metody pájení, které se používají v závodě zadavatele diplomové práce.

Dalším cílem bylo navrhnout samotné strojní zařízení, které bude sloužit pro indukční pájení. Pro pracovní proces byl použit robot TX90L od firmy Stäubli. Jedná se o šestiosý průmyslový robot, který stojí na navrženém podstavci. Tento podstavec byl zkontrolován statickým výpočtem ve výpočtovém programu IDA Nexis 32. Pro přehlednost diplomové práce byla výpočtová zpráva umístěna do přílohy.

Pro robot byla navržena kabina, která je tvořena hliníkovými profily od společnosti Bosch Rexroth. Přes kabinu robotu bude přepravován manipulační vozík, který se v současné době již používá v závodě zadavatele diplomové práce. Z důvodu zachování stávajících manipulačních vozíků byl sestaven unifikovaný řemenový dopravník, který je dodáván také od společnosti Bosch Rexroth.

Dále byl navržen držák pro robot, na kterém je uchycena kamera, pyrometr a induktor. Pro usnadnění výroby induktoru se navrhnul přípravek na jeho výrobu. Další přípravek byl také navržen pro optickou kalibraci robotu.

K vytvoření 3D modelu strojního zařízení byl použit software CATIA V5. V příloze se nachází layout části pracoviště, kde se nachází navržené strojní zařízení a výkresová dokumentace.

Poděkování

Tímto děkuji panu doc. Ing. Jiřímu Friesovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval vedení firmy zadavatele práce a jejím zaměstnancům za umožnění zpracovávat diplomovou práci v jejich firmě, především pak panu Ing. Vítovi Kostečkovi za odbornou pomoc při zpracování diplomové práce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] V. RUŽA. *Pájení*. 2. vydání. Praha 1: SNTL, 1988. ISBN 04-216-88.
- [2] *Technologie I.: Pájení* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD13_prezetace.pdf
- [3] Pájení naměkko a natvrdo. *MĚDĚNÉ ROZVODY* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://medenerozvody.cz/pajeni-namekko-natvrdo>
- [4] J. RAYNOCH. *Pájení a lepení* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.sps-vitkovice.cz/projekt2/projekt/texty/STT/P%C3%81JEN%C3%8D%20A%20LEPEN%C3%8D-UT.pdf>
- [5] DOBEŠ, Bc. Václav. DIPLOMOVÁ PRÁCE: Indukční pájení trubkových rozvodů z vysokolegovaných ocelí. [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/109531/DOB0031_FS_N2301_2303T002_20_2015.pdf?sequence=1
- [6] *OPTIMALIZACE PROCESU PÁJENÍ MĚDĚNÝCH KOMPONENT GENERÁTORU* [online]. KLAUBEROVÁ D. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: http://arctech.sk/pics/db/Klaberova_Danuse.pdf
- [7] *MATERIÁLOVÉ SPOJE – SVÁŘENÉ, PÁJENÉ, LEPENÉ* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/6281027/#>
- [8] How to braze metal with a torch. *BERNZOMATIC* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.bernzomatic.com/project/braze-metal-together/>
- [9] Pajecí pasty a kapaliny. *Svářecké potřeby - SADÍLEK* [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://svarecskepotreby.cz/images/tavidla.jpg>
- [10] *Bosch Rexroth: Katalog* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.betz.cz/download_soubory/Katalog_MGE_13.0_DE.pdf

- [11] Profile connectors. *EShop Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: https://www.boschrexroth.com/irj/portal/anonymous/eShop?guest_user=anonymousDE&display=catalog&bridgeSelectedCatalog=MTN&bridgePageId=ts_4plus
- [12] Robots. *RiA Food Tech* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.riafoodtech.fr/robots-6-axes-tx90-tx90l-tx90xl.html?ent=57>
- [13] Vzduchem chlazené jednotky. *Veskom* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.veskom.cz/cz/taeevo-1-4-175-kw>
- [14] Sinac universal heat generators. *EFD INDUCTION* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.efd-induction.com/en/Products/Sinac/Medium/12_18_SM.aspx
- [15] Univerzální průmyslové odsavače. *EKO SIMKO* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: http://www.ekosimko.cz/index.php?id=897&lang_id=1&tparent_id=72&tgroup_id=102&group_id=244

Seznam obrázků

Obr. 1 Teplotní rozmezí pájení [3]	11
Obr. 2 Pájecí hořák [10].....	13
Obr. 3 Celkové uspořádání pro indukční ohřev [5]	14
Obr. 4 Koncepce pulzujícího proudu [5]	16
Obr. 5 Válec uhlíku s regulací teploty pomocí optického pyrometru [5]	17
Obr. 6 Zavřená a volná spojka [5]	17
Obr. 7 Typické tvary induktorů, které se používají při indukci jako zdroje tepla	18
Obr. 8 Tavidla [11]	20
Obr. 9 Manipulační vozík	22
Obr. 10 Podlahový modul s deskou	23
Obr. 11 C profil s vedením pro dopravník.....	23
Obr. 12 Tvar profilu firmy Bosch Rexroth	24
Obr. 13 Spojování profilů	24
Obr. 14 Stojna rámu s nohou [10].....	24
Obr. 15 Kostra rámu kabiny pro robot.....	25
Obr. 16 Rám kabiny pro robot s otvorem pro dopravník.....	26
Obr. 17 Podpěra pro uchycení skla	26
Obr. 18 Dveře složené z profilů	27
Obr. 19 Zakrytované konce profilů.....	27
Obr. 20 Hnací jednotka s motorem	28
Obr. 21 Spojka ve tvaru T [11]	29
Obr. 22 Řemenový dopravník.....	29
Obr. 23 Žebro s pásnicí.....	30
Obr. 24 Nájezdová rampa	30
Obr. 25 Robot od firmy Stäubli model TX90L [11].....	31
Obr. 26 Podstavec pro robot	32
Obr. 27 Průmyslový chladič Taevo TECH [12]	32
Obr. 28 Rozvaděč SINAC 12/18 SM [13].....	33
Obr. 29 Držák rozvaděče SINAC	35
Obr. 30 Úhelník pro zpevnění.....	36
Obr. 31 Polohovatelná spojka.....	36
Obr. 32 Odsavač SOS SV 262.1. P.....	37
Obr. 33 Držák odsavače.....	38

Obr. 34 Průmyslová digestoř	39
Obr. 35 Uchycení průmyslové digestoře	39
Obr. 36 Ohnutý plech držáku.....	40
Obr. 37 Navažené U plechy s drážkou.....	41
Obr. 38 Ohnutá pásnice se světlem.....	41
Obr. 39 První část držáku	42
Obr. 40 Příruba	42
Obr. 41 Druhá část držáku s pájecí hlavou	43
Obr. 42 Ohebná spojka s oříškem a částí držáku pyrometru	43
Obr. 43 Držák pyrometru s pyrometrem.....	44
Obr. 44 Ustavení těla induktoru pro zkrácení.....	45
Obr. 45 Ustavení ohnuté části induktoru	46
Obr. 46 Přípravek na výrobu induktoru	46
Obr. 47 Kalibrační deska s popisem pozic	47
Obr. 48 Základna s vedením	48
Obr. 49 Domek	48
Obr. 50 Přípravek na kalibraci robotu	49

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Technické parametry rozvaděče SINAC 12/18 SM.....	33
Tabulka č. 2 Technické parametry odsavače EKO - ŠIMKO typ SOS SV 262.1.P.....	37

Seznam příloh

Příloha A: Statický výpočet podstavce pro robot

Příloha B: Layout části pracoviště

Příloha C: Detailní obrázek rozmístění robotického pracoviště

Seznam výkresové dokumentace

Výkres: A1 – BK411541 – Strojní zařízení

Výkres: A1 - BK411533 – Rám kabiny robotu

Výkres: A2 – BK411535 – Držák rozvaděče

Výkres: A2 – BK411537 – Držák PC

Výkres: A3 – BK411539 – Řemenový dopravník

Výkres: A3 – BK411543 – Podstavec pro robot

Výkres: A3 – BK411545 – Držák odsávání

Výkres: A3 – BK411547 – Dveře

Výkres: A2 – BK411416 – Držák pro robot

Výkres: A3 – BK411418 – Držák spodní díl

Výkres: A3 – BK411420 – Držák horní díl

Výkres: A2 – BK411422 – Držák kamery

Výkres: A3 – BK411424 - Křídlo

Výkres: A3 – BK411426 – Držák světla

Výkres: A4 – BK411428 – Držák snímače

Výkres: A4 – BK411430 – Oříšek

Výkres: A4 – BK411432 – Držák pyrometru spodní díl

Výkres: A4 – BK411434 – Držák pyrometru horní díl

Výkres: A3 – BK411370 – Přípravek na výrobu induktoru

Výkres: A2 – BK411346 – Základní deska

Výkres: A4 – BK411348 – Ruka držáku

Výkres: A4 – BK411350 - Špunt

Výkres: A4 – BK411352 – Násada

Výkres: A3 – BK411354 – Držák kratší části

Výkres: A3 – BK411362 – Sloupek

Výkres: A2 – BK411290 – Přípravek na optickou indukci

Výkres: A3 – BK411278 – Kalibrační deska

Výkres: A3 – BK411280 – Základna

Výkres: A3 – BK411282 – Domek

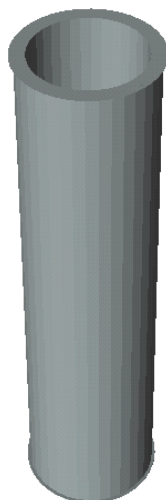
Výkres: A4 – BK411284 – Kalibr

A. Statický výpočet podstavce pro robot

1. Popis výpočtu

Nejprve je rám kontrolován jako celek. Z výpočtu celku je zjištěna síla v místě, kde je podstavec ukotven k zemi. Z této síly bude vypočítán systém kotevních prvků. Do výpočtu nejsou zahrnuty příruby, protože jejich význam neovlivňuje tuhost ani pevnost konstrukce. Svary na koncích se počítají jako krátké trubkové prvky s nosným průřezem svarů.

Tento výpočet je proveden v programu IDA Nexis 32 a kotvy se počítají v programu, který je dostupný z webových stránek výrobce kotevních prvků Hilti. Geometrie robota je simulována pomocí nosníku o velké tuhosti a nízké hmotnosti. Hmotnost robota je nahrazena osamělou hmotností 114 kg na tomto nosníku ve vzdálenosti 600 mm, což je odhad těžiště ramene od osy otáčení.

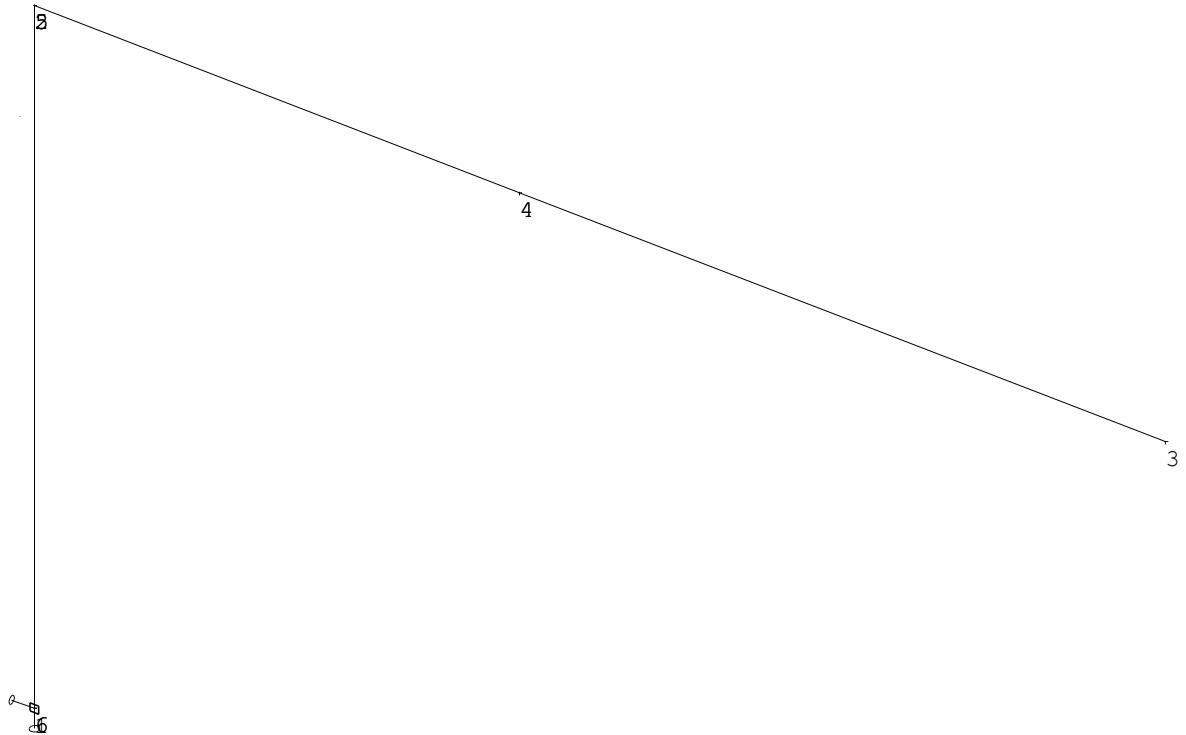


Obr. 3D model z výpočetního programu

2. Výpočet celku

2.1 Matematický model

2.1.1 Liniový model



Obr. Liniový model

2.1.2 Základní data

Typ konstrukce: Obecný XYZ

Počet uzlů:	13
Počet prutů:	14
Počet maker 1D:	8
Počet linií:	0
Počet 2D maker:	0
Počet průřezů:	1
Počet stavů:	2
Počet materiálů:	1

Materiál

Jakost	Charakteristika	Hodnota
S 235	Pevnost v tahu	360.000 MPa
	Mez kluzu	235.000 MPa
	Modul E	210000.00 MPa
	Poissonův souč.	0.30
	Obj. hmotnost	0.000 kg/mm ³
	Roztažnost	1.2e-005 mm/mm·K
	50000.00 MPa	50000.00 MPa
Náhradní	0.50	0.50
	0.000 kg/mm ³	0.000 kg/mm ³
	0 mm/mm·K	0 mm/mm·K

2.1.3 Geometrická data

Uzly

uzel	X mm	Y mm	Z mm
1	0	0	1
2	0	975	2
3	1400	975	3
4	600	975	4
5	0	976	5
6	0	1	6

Pruty

makro	prut	uzel 1	uzel 2	délka mm	Rx deg	průřez	jakost
1	1	1	6	1	0.00	4 - Trubka (257,12)	S 235
1	2	6	5	975	0.00	1 - B244.5/20	S 235
2	3	5	2	1	0.00	3 - Trubka (261,8)	S 235
3	4	2	4	700	0.00	2 - Číselný	Náhr.
3	5	4	3	700	0.00	2 - Číselný	Náhr.
1	1	1	6	1	0.00	4 - Trubka (257,12)	S 235

2.2 Zatížení

Na rám působí tyto zatížení:

a) Hmotnosti - hmotnost břemene $m_B = 15 \text{ kg}$

- hmotnost robota $m_R = 114 \text{ kg}$

b) Síly od zrychlení

Odstředivá síla

$$F_O = \frac{m_B \cdot v_1}{r_B} + \frac{m_R \cdot \left(v_1 \cdot \frac{r_R}{r_B} \right)^2}{r_R} = \frac{15 \cdot 10,54^2}{1,4} + \frac{114 \cdot \left(10,54 \cdot \frac{0,6}{1,4} \right)^2}{0,6} = 5067 \text{ N}$$

$v_1 = 10,54 \text{ m/s}$ – jedná se o rychlost v místě maximálního dosahu břemene

$r_B = 1,4 \text{ m}$ – je maximální rameno těžiště břemene

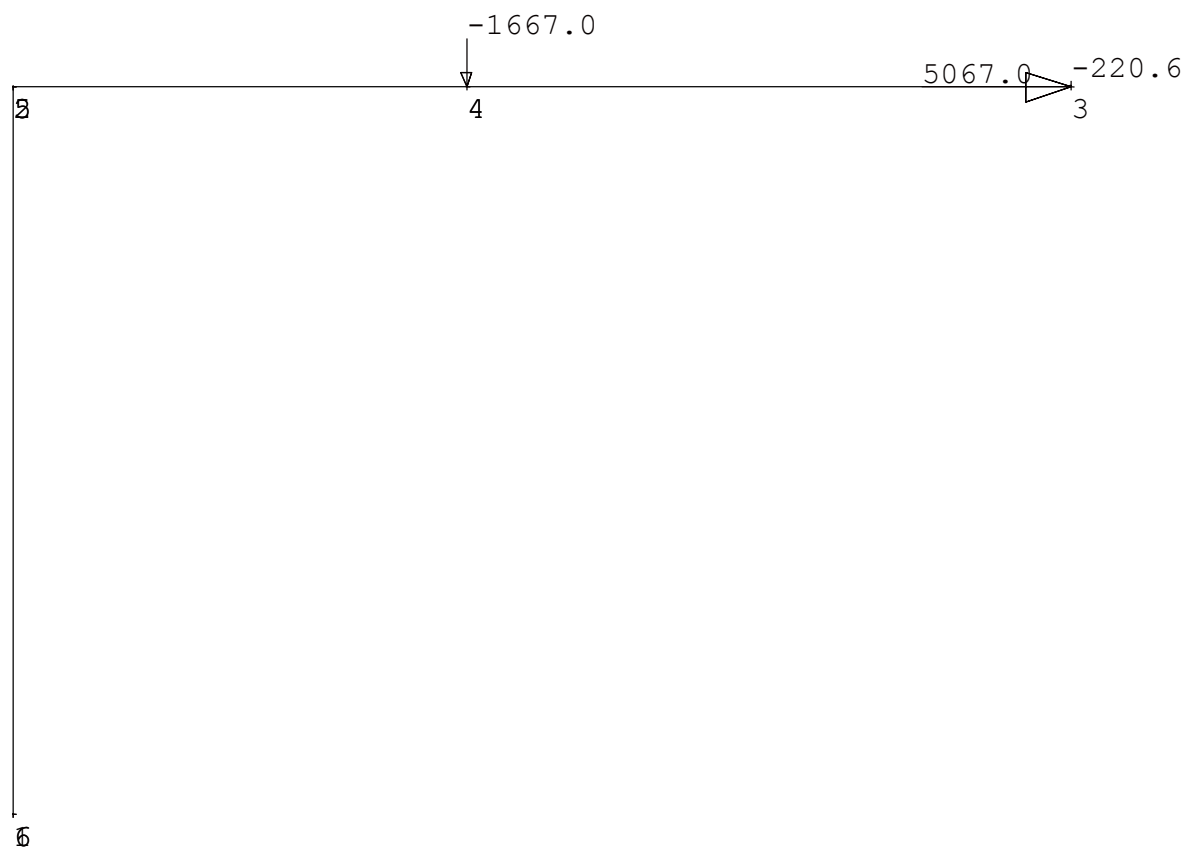
$r_R = 0,6 \text{ m}$ – je maximální rameno těžiště robota

Svislé zrychlení

Toto zrychlení není výrobcem uvedeno. Po konzultaci bylo odhadnuto na hodnotu $a = 1,5g$. Z toho vyplývá, že k břemenu a robotu je připočtena polovina jejich hmotnosti.

$$F_{z,B} = 15 \cdot 1,5 \cdot 9,80665 = 220,6 \text{ N}$$

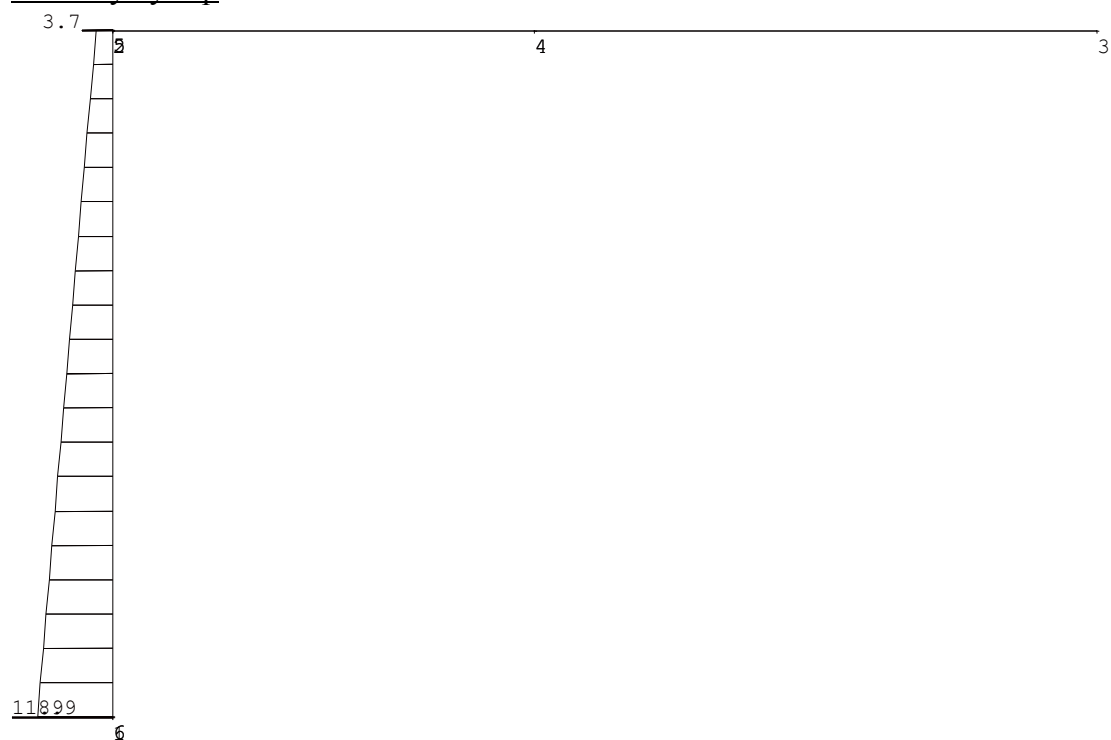
$$F_{z,R} = 114 \cdot 1,5 \cdot 9,80665 = 1677 \text{ N}$$



2.3 Výsledné účinky

2.3.1 Napětí

Grafický výstup



Textový výpis**Prut – napětí. Globální extrém**

Lineární statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů: 1/5

Skupina kombinací na únosnost: 1

prut	pr.č.	kombi	dx mm	Norm. napětí - / + MPa	Smyk. napětí MPa	von Mises - / + MPa
1	4	1	0.0	-11.93 11.29	1.05	11.93
3	3	1	0.0	-3.06 3.65	1.53	3.65

Maximální smluvní napětí $\sigma_{HMH} = 11,93$ MPa je v prvku 1. Tento prvek simuluje svar u patní desky. Toto napětí je hluboko pod mezí kluzu svarového kovu.

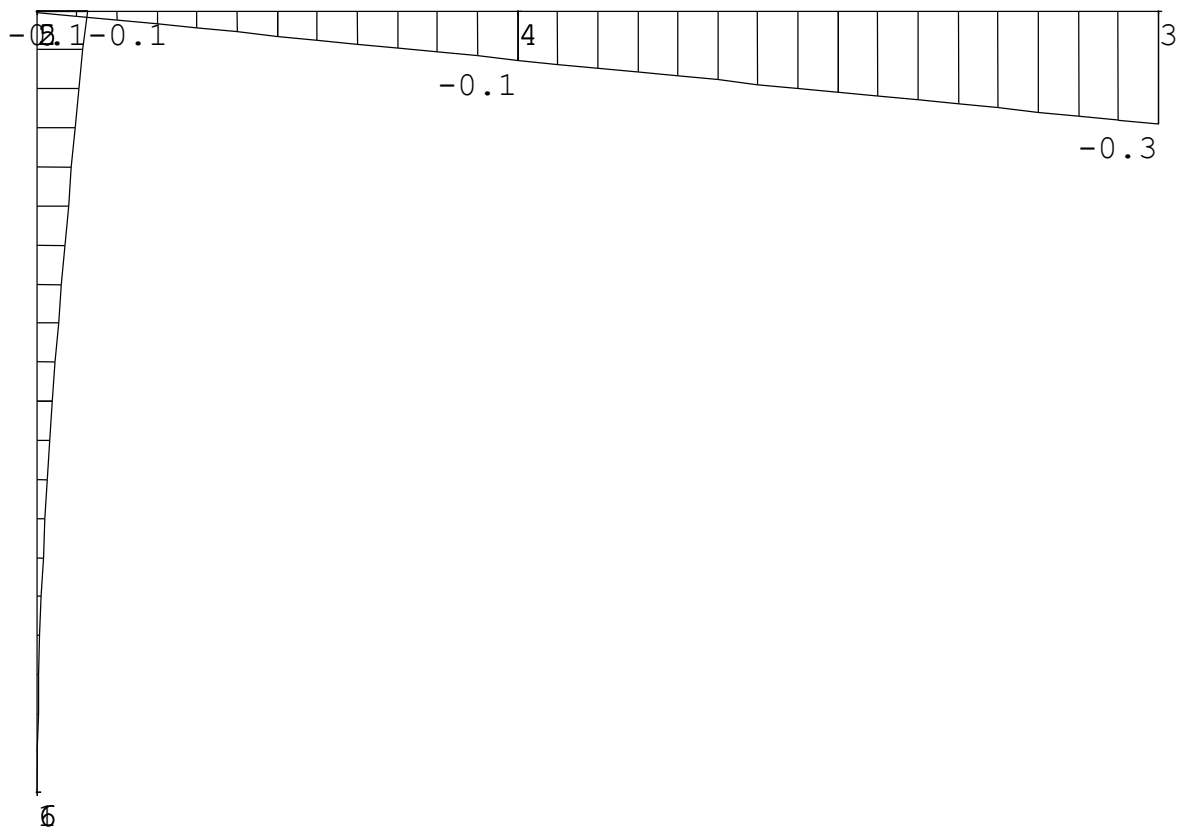
2.3.2 DeformaceTextový výpis**Deformace na prutu (ech). Globální extrém**

Lineární statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina prutů: 1/5

Skupina kombinací na únosnost: 1

prut	pr.č.	kombi	dx [mm]	ux [mm]	uz [mm]	fy [m·rad]
5	2	1	800.0	0.27	-0.28	0.20
5	2	1	50.0	0.19	-0.13	0.20
3	3	1	1.0	0.00	-0.13	-0.20

Grafický výstup uz

Maximální deformace v místě břemene je 0,27 mm ve svislém směru a 0,28 ve vodorovném směru. Tyto deformace je třeba brát v úvahu při nastavování poloh robotu.

3. Výpočet kotevních prvků

Výpočet kotevních prvků je pomocí specializovaného softwaru od firmy Hilti. Jako zadávací hodnoty poslouží jednotlivé složky reakce v uzlu 1 ukotvení trubky.

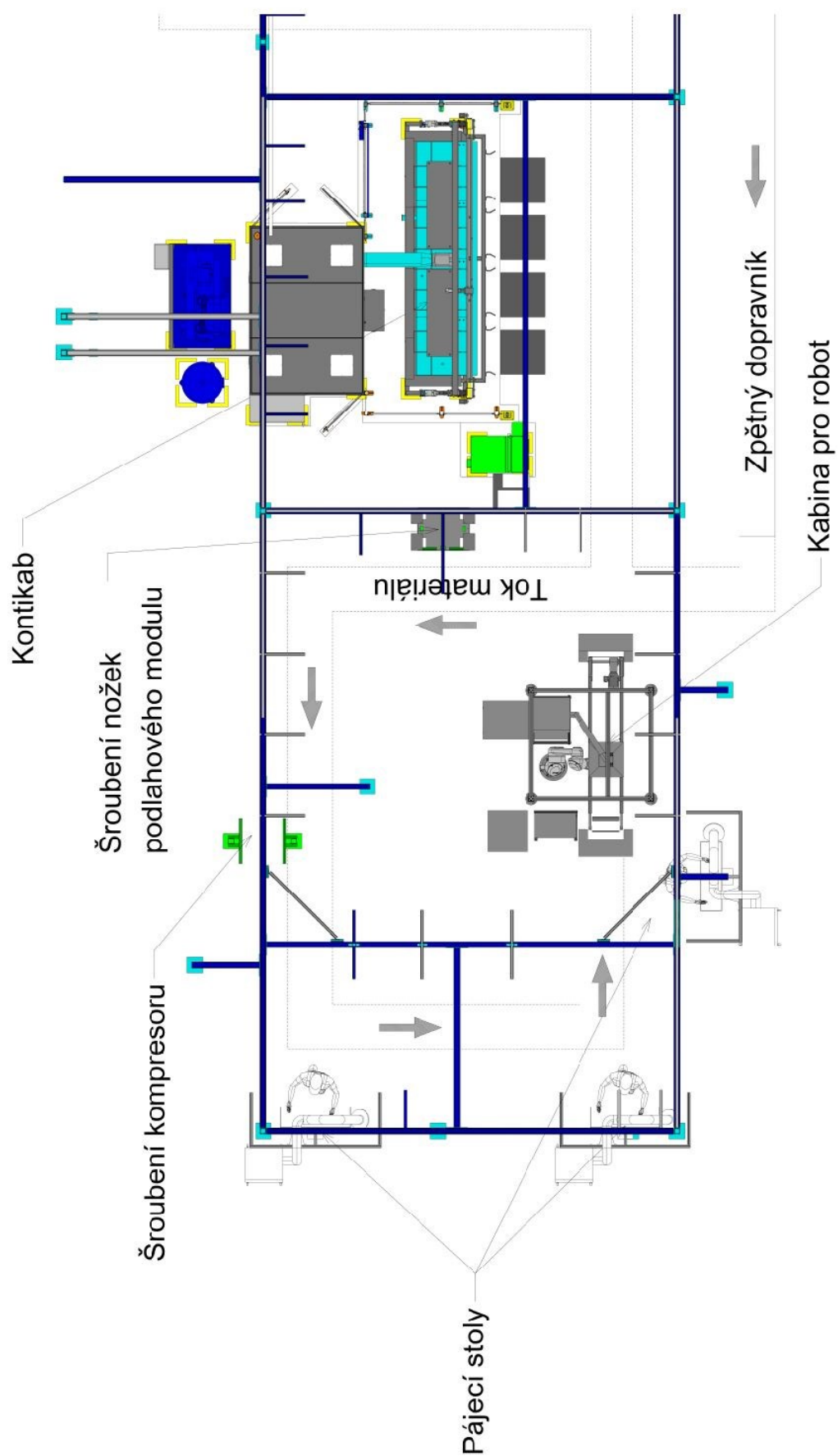
Reakce v podporách – hodnoty v uzlech. Globální extrém

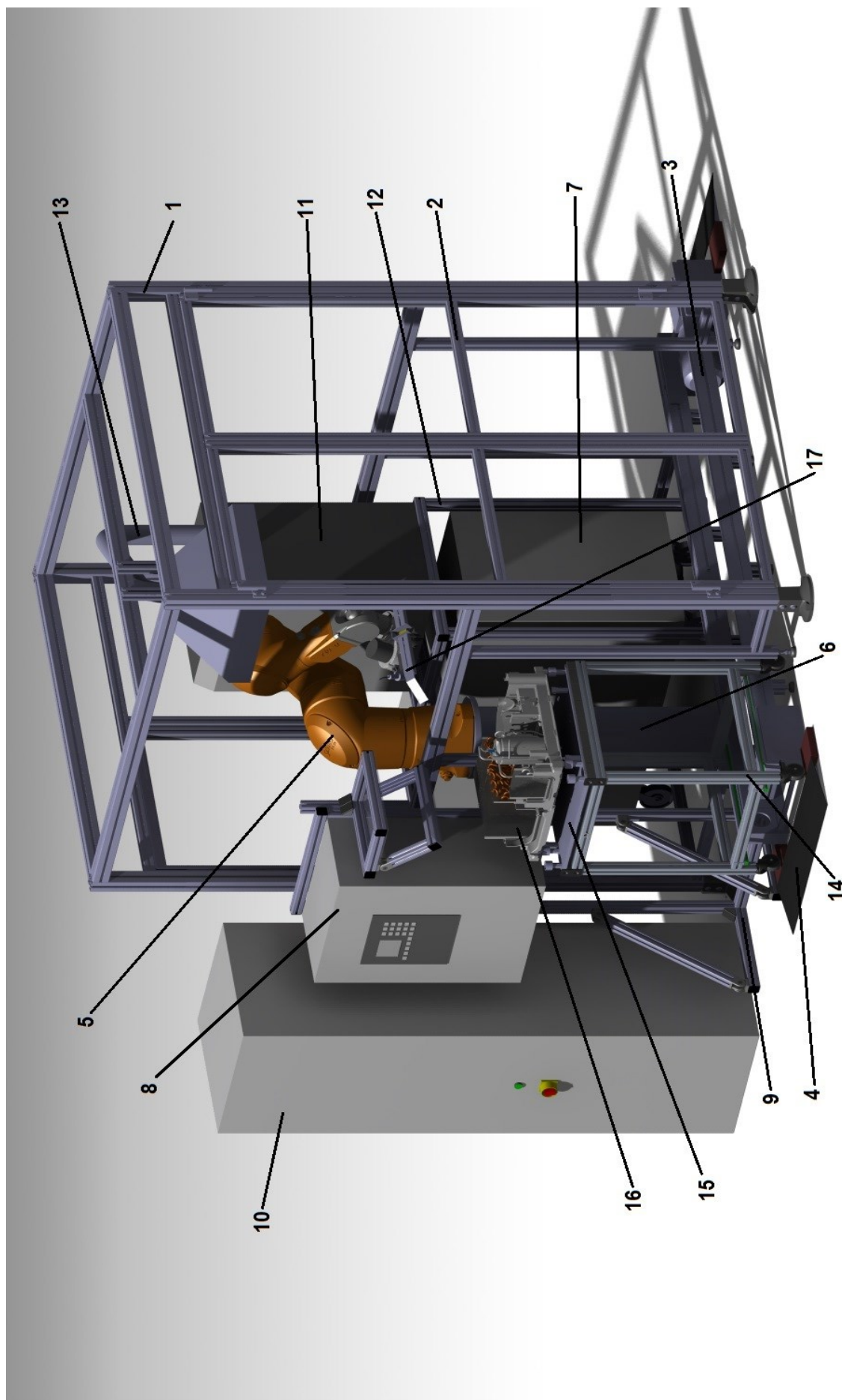
Lineární statický – nebezpečné nebo všechny kombinace

Skupina uzlů: 1/6

Skupina kombinací na únosnost: 1

podpora	uzel	kombi	Rx [N]	Rz [N]	My [Nm]
1	1	1	-5067.00	2958.10	-6249.51

B. Layout části pracoviště

C. Detailní obrázek rozmístění robotického pracoviště

Popis jednotlivých částí strojího zařízení

1. Rám kabiny robotu
2. Dveře kabiny
3. Řemenový dopravník
4. Nájezdová rampa
5. Robot TX90L
6. Podstavec pro robota
7. Chladič Taevo 020
8. Rozvaděč SINAC 12/18
9. Držák rozvaděče
10. Hlavní rozvaděč
11. Odsávání SOS SV 262.1. P
12. Držák odsávání
13. Potrubí odsávání
14. Manipulační vozík
15. Deska
16. Podlahový modul
17. Držák na indukci